# Gestion institutionnelle et réponses des populations face aux crises volcaniques : études de cas à La Réunion et en Grande Comore

Julie Morin

▶ **To cite this version:**

Julie Morin. Gestion institutionnelle et réponses des populations face aux crises volcaniques : études de cas à La Réunion et en Grande Comore. Volcanologie. Université de la Réunion, 2012. Français. NNT : 2012LARE0035 . tel-01199868v2

**HAL Id: tel-01199868**

**https://theses.hal.science/tel-01199868v2**

Submitted on 16 Sep 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ecole Doctorale Sciences Technologies Santé
UMR CNRS IPGP 7154

**THESE**

Spécialité Sciences de la Terre, Mention Gestion des Risques et des Crises

**Présentée par Julie MORIN**

en vue de l'obtention du grade de
Docteur de l'Université de La Réunion

# Gestion institutionnelle et réponses des populations face aux crises volcaniques : études de cas à La Réunion et en Grande Comore

Soutenue publiquement à Meudon le 10 décembre 2012

Devant le jury composé de :

| | | |
|---|---|---|
| Patrick BACHELERY | Professeur de Sciences de la Terre - Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand | Directeur de thèse |
| Franck LAVIGNE | Professeur de Géographie - Université Paris I | Co-Directeur de thèse |
| Frédéric LEONE | Professeur de Géographie - Université Montpellier III | Rapporteur |
| Yvette VEYRET | Professeur de Géographie - Université paris X | Rapporteur |
| François TAGLIONI | Professeur de Géographie - Université de La Réunion | Examinateur |
| Jean-Christophe KOMOROWSKI | Physicien - Institut de Physique du Globe de Paris | Examinateur |
| Wilfrid BERTILE | Professeur de Géographie retraité - Université de La Réunion Homme politique réunionnais | Examinateur |
| Alain CHEVALLIER | Inspecteur technique pour la prévention et la protection contre l'incendie, Ministère de la Défense ; Chargé de mission Politique Nationale sur les exercices de protection civile (2008-2011) - Direction de la Sécurité Civile, Ministère de l'Intérieur | Examinateur |

***A mes grands-parents qui l'ont déjà connue,***

***Et à Anna, Louise², Juliette, Eléonore, Adèle, Noémie, Martin, Ferdinand, Margot, Lenny, Noé, Aliocha, Esther, Louve, Alice, Agathe, Dora, Faustine, Lucie, et tous les marmailles à venir qui auront un jour le bonheur de découvrir la magie des volcans.***

… enfin,
**P**arce qu'
**A**ssoiffée de bêtises, la
**T**eam-Dream
**E**mit une
**R**equête stupide mais
**N**éanmoins
**O**riginale… :

***A tous ceux qui croient, croiront, ou ont cru un jour à la géopoésie, à la volcanographie et au 1% social des sciences très dures***
***- autrement dit, à la science molle comme la boue de Paterno -***

# Remerciements

**Cinq ans et demi, quelques éruptions, crises, petits et grands moments plus tard, il est temps de remercier toutes celles et ceux qui ont contribué à l'avancée de ces travaux et m'ont supportée, dans les deux sens du terme…**

**Mes premiers remerciements vont naturellement aux personnes qui ont bien voulu encadrer, lire et évaluer ce travail : mes directeurs de thèse, les rapporteurs de ce mémoire, et membres du jury.**

Patrick Bachèlery a accepté d'être mon directeur pour me permettre d'effectuer mes recherches au sein du LGSR. Merci de la confiance que tu m'as accordée. Bien des choses se sont passées depuis les blagues de Chevallier et Laspales, parmi lesquelles une ébauche de plan cardhu-mojitoïsé bien remaniée… On s'était promis de se disputer sur le paradigme, nous y sommes enfin, « nous pouvions le faire »... J'aurais pu le concevoir plus tôt. A moi le Laos ! Bonne vie à toi au milieu des Puys.

Franck Lavigne, mon co-directeur. Tu sais combien tu as contribué à tous points de vue à mon petit bonhomme de chemin ces 10 dernières années. Sur tes bons conseils, *au crépuscule de ma thèse* j'ai essayé *d'arrêter de réfléchir*. Dur. Mais je vais m'y remettre illico : ça n'est pas tous les jours que je peux partir enquêter sur les gunung avec LE Pak Guru, j'ai bien l'intention d'en profiter ! Vivement demain ! Quant à aujourd'hui, aucun merci ne saurait être à la hauteur de ce que je te dois. Livia, Axel, Emma et toi êtes une deuxième famille.

Frédéric Léone, rapporteur de ce mémoire, un de mes modèles de *volcanographe*. Mon année en GCRN a été décisive dans le choix d'orienter plus spécifiquement mes recherches vers la gestion de crise. Je ne viendrai finalement pas faire débouler de lahars sur tes réseaux, mais ce n'est que partie remise ! Merci de m'avoir continuellement assurée de ton soutien et de m'avoir rappelé qu'il est plus approprié d'agir que de gémir… ;). Bien qu'elle ne soit pas dans ce jury aujourd'hui, je ne peux manquer d'associer à ces remerciements Monique, que je porte dans mon cœur. Merci à vous deux pour cette semaine de rédaction montpelliéraine tombée à pic dans la fraicheur de l'hiver juilletiste.

Yvette Veyret, également rapporteur, spécialiste des risques et du développement durable, ancienne présidente du Conseil National Français de Géographie, qui, lorsque je l'ai vue pour la première fois en colloque, soulignait le manque de thèses réalisées par des géographes sur les questions de gestion de crise. J'espère apporter ainsi une petite pierre à l'édifice, et vous remercie d'avoir accepté de rapporter.

François Taglioni, spécialiste des risques et crises sanitaires, fin connaisseur des îles, notamment de l'Océan Indien. Il y a un an tout juste, le 10 décembre 2011, à l'Institut de Géographie, tu m'as remis du baume au cœur en me rappelant avec ton enthousiasme habituel que la thèse n'est pas une fin en soi mais un simple parcours initiatique qui ouvre la voie à un réel épanouissement dans la recherche. Cette discussion affable et cette jolie mise en perspective n'étaient pas de trop, je t'en remercie ! Nartrouv bientôt sur le caillou réunionnais, j'espère y monter quelques projets…

Jean-Christophe Komorowski, *le socio-volcanologue* de l'IPGP. Tu as su me faire oublier les affres du statut de géographe au sein d'un institut où les frontières disciplinaires sont plus souvent franchies sur le papier que dans les faits. Merci pour notre discussion dans un improbable jardin peuplé de paons, et plus généralement pour ta grande ouverture d'esprit lors de nos quelques échanges sur les sujets relevant des sciences humaines. Ils m'ont permis d'abandonner certains complexes et d'évoluer plus positivement dans mes recherches.

Wilfrid Bertile, maire de Saint-Philippe lors de l'éruption destructrice de 1986, longtemps Conseiller général, député et vice-président du Conseil Régional de La Réunion, et professeur de géographie à l'Université de La Réunion. J'aurais eu le privilège d'échanger plus longtemps avec vous si ma voiture n'était pas tombée en panne le jour de notre rendez-vous… nos récents travaux respectifs seront, je l'espère, l'occasion de le faire. Merci pour la transmission de vos ouvrages, dont je me suis autant nourrie scientifiquement que personnellement, heureuse, comme je vous l'ai écrit, de pouvoir me replonger le temps de quelques heures dans le quotidien du Tremblet.

Alain Chevallier, pompier à l'expérience incomparable en matière de gestion de crise et d'exercices de gestion de crise, auteur des guides méthodologiques officiels parus ces dernières années sur le sujet en France. Un grand merci pour ton soutien dans les tentatives de récupération des données de l'éruption d'avril 2007. J'espère pouvoir poursuivre les cours à tes côtés pour en apprendre toujours plus sur les rouages opérationnels, savourer tes mille et une anecdotes sur les dessous de la gestion de crise, et continuer à la décortiquer sans langue de bois. Vivement la prophétie maya sur Séchilienne !

**Merci à l'ensemble des gens qui ont apporté conseils, données et bonne humeur à la réalisation de ce travail :**

**Un grand merci aux Réunionnais et Comoriens qui ont pris le temps de répondre à mes questions**, accepté de m'ouvrir les portes de leur univers quotidien, et apporté leur amitié. Je pense tout particulièrement aux familles du Tremblet chez qui je me suis si rapidement sentie chez moi, et à celles de Vouvouni avec lesquelles j'aurais souhaité partager plus si j'avais pu retourner travailler en Grande Comore.

A La Réunion :

Il est de rigueur de remercier la Région, qui a financé une grande partie de cette thèse, et qui nous aura rappelé qu'il n'est jamais vain de se battre, surtout pour les suivants... et qu'il est bon de continuer quand on ne peut pas arrêter... Comprenne qui pourra. J'espère que Nirmal n'oubliera pas de faire poser la stèle de la victoire… Une très grande pensée pour Aurélie, Virginie, Vianney, Florent, Julien, Nirmal, Dan, Manue, Eve, Romain, Lilian et tous les doctorants avec qui nous avons lutté, bossé et ri. Merci à Philippe Banet, France-Anne Longin et Véronique ( ? désolée…), Jessica Vellaidon et Sonia Ranguin pour leur disponibilité au BRED et à l'ED.

Au labo, merci à Laurent, Vincent, Claude, Eric, Eric et sa petite famille, Geneviève, Françoise et Dom, Jean-Lamb, Tonio, Hamidou, Francky, Stefan, Olivier, aux deux Nicolas, aux deux Fabrice, à Zarah, Mag, Tib, Ben, Jaco, Marie, Julie, Marion, aux incontournables TCHOUKTCHES et mots tabous, sans oublier les joyeux biologistes des labos alentour pour toutes les délicieuses barquettes partagées au milieu des tiques. Des pensées spéciales pour Eric et Françoise qui m'ont facilité les choses à bien des égards sur le plan logistique, Taïbote qui sans le savoir a ramené la bonne humeur dans le bureau des jeunes intellectuels précaires (désolée pour Sam…), Mag pour les vibrations inoubliables partagées au Karthala (longue vie à toi avec Bibou !), Stefan pour son jugement mesuré, sa force tranquille et sa discrétion, et, bien entendu, Finizool (malgré ses tentatives répétées de séquestration de taxi-vanette-driveuse jusqu'à des heures indécentes pour ne pas rentrer à pieds de la fac jusqu'à Saint-François…). Enfin, je n'oublie pas les stagiaires de passage : Simon, Martine & Delphine, Fabrice, Marie, qui ont contribué à l'acquisition des données et dont l'encadrement a été une expérience très formatrice. Merci pour votre aide. Une pensée toute particulière à ma ptite Padawan avec qui on aura DOverdrivé avec complicité l'approche radicale dans les îles de l'océan indien.

Remerciements au Colonel Gérard Courtois et au Capitaine Jean Guillaume pour leur accueil si sympathique, de même qu'au Colonel Paris, à Aymerick Jaud, Dominique Salort et Malika Guenou à la Préfecture ; Miguel Félicité à la mairie du Tampon, Jean-Luc Fontanel, Franck Compagnon, Michel Sicre et Guy Rivière de l'ONF ; Alain Brondeau et Anne Bello du PNR ; Philippe Tercé au rectorat et à l'ensemble des professeurs de SVT de La Réunion qui ont joué le jeu de l'enquête ; Thomas Staudacher, Andrea Di Muro, Patrice Boissier, Aline Peltier et l'équipe de l'OVPF dans son ensemble ; Bruno Siéja de l'ORA ; Pascale Metzger à l'IRD avec qui je regrette sincèrement de ne pas avoir choisi de travailler ; Christian Pailler et Véronique Walbaum à la PIROI ; enfin, Frédéric Caillé pour les survols de la Fournaise à prix modique. Pour leur accueil amical, les anecdotes et connaissances qu'ils ont pris le temps de me transmettre malgré leurs emplois du temps souvent démentiels, et les moments agréables partagés en terre volcanique, un grand merci à Philippe et Clairette Mairine, François et Annie-France Martel-Asselin, Philippe Crozet, Patrice Huet, Jean Perrin (qui m'a permis de vivre des moments héliportés intenses !), Alain Barrère, Alain Bertil, Christian Germanaz, Louis Franceschini, Honoré Dumont, les famille Rivière, Bertile, Lallemand, Boyer, Salvan, Lavernay, Dalleau, Payet, Collet, Dijoux, Grondin, Bassoul, Kaisse, Barencourt, Courtois, Morel.

En Grande Comore :

Remerciements à Hamid Soule et François Sauvestre de l'OVK, au Colonel Mogne Daho du COSEP (heureusement, les Tisanières étaient là pour m'aider à survivre à la climatisation à 16°C…), à l'ensemble des Préfets et enseignants de Grande Comore qui se sont pliés au jeu du questionnaire, à Monsieur Mzé Abdou Soulé Elbak, Président de l'île autonome de Ngazidja, à Dominique Meyer-Bisch (qui m'a acceuillie avec beaucoup d'hospitalité - et révolutionné le concept de risque volcanique…-), Philippe Leccis, Monique Bauer, et Messieurs Andrieu et Frier de l'Ambassade de France à Moroni. Je m'abstiendrai de remercier le Dr. Dubiq (dont je n'ai pas revendu la morphine au marché noir…). A Houssmane Ouatt, Odile Bulten, et Georges Tadonki de OCHA, Mme Mazza, représentante des Nations Unies, Anliyat Mze Ahmed et Mrs. Cloubou et Issimael, du PNUD, à Hamidou et Ahmed du LGSR et à leurs familles, en particulier Shaharzade pour les repas apportés pendant les veilles à l'observatoire. A Carol Develter (pour son accueil) et Mr. Mayet de l'AFD, à Eric Bonamy, Nancy Juvin, Nicolas Brodeur et Virginie de la CRF, Mr. Abdou du CRCo pour leur collaboration. Merci pour nos échanges instructifs à Messieurs Abdallah, Abdel Nasser, Abdoul Karim, Aït Chelouche, Ali, Ali Bacar Kasin, Ali Saïd, Avi, Chafion, Cheikh, Nouafal, Mouadjou, Jaffar, Hachim, et Soihili, membres des autorités comoriennes ; à Mrs. Afraitaine, Damir Ben Ali, Mohamed Said, de l'Université des Comores ; à Messieurs Moindjie et Soihili de la TNC, ainsi qu'à Lisa Giachino de Kashkazi. Merci au colonel Paxton, au général Smith et à leurs troupes, en particulier Nathaniel et Obelix grâce à qui le grand huit ne me fera plus jamais peur… Une pensée toute particulière pour Smiet', Chris, Hamidou, Youssouf, Mirgan, et Saïd, mes compagnons de sommet.

En métropole :

Une pensée à toutes les équipes qui ont nourri mon parcours universitaire : les ex-GESTERiens, en particulier Freddy ; Raph de Geolab et le glaoush tatoué de Banda ; Charles LeCoeur, Marie Chenet, Aurélien Christol et

Frédéric Gob, compagnons d'enseignement à P1. Merci à JC Gaillard, l'homme aux 500 publis et aux journées de 92h (au moins), qui m'a épaulée au cours de l'année 2010 dans mon projet comorien. Ne m'en veux pas de trouver un équilibre ailleurs que dans l'approche purement radicale, j'y suis sensible sur de nombreux points et ai pris plaisir à me plonger dans la dynamique des DO. Obrigado speedy JC, tu as étéch superch… Merci également à P. Lavina, à Philippe HUSSON du VAAC de Toulouse, Pierre Tinard de la Caisse Centrale de Réassurance, Guillaume Levieux à l'IPGP pour les échanges sur la crise de 2007, Dominique Decobecq pour l'exemplaire de Krafft 1983, Yann Gérard de l'ADEF. Merci à Michel Persin, Eric Carrey, Emmanuel Hubert et Didier Raciné à l'EISTI de m'avoir conviée à divers exercices de simulation de crise, riches d'enseignements. Merci à Morgan Le Sellin pour son expertise informatique.

**Pour leurs relectures merci à** Marie-Françoise Morin, Alexandre Sahal, Delphine Grancher, et Edo de Belizal pour la partie sur les lahars.

Ailleurs dans le monde :

A Chris Newhall pour ses encouragements, et aux Shadock, qui m'ont permis de mieux relativiser la portée de mon travail :

**Comme d'habitude et plus que jamais, mes pensées les plus fortes vont à ceux, déjà cités ou non, auprès de qui je ne suis que trop rarement et à qui je ne peux m'empêcher de penser, même (et surtout !) en face du plus fascinant des spectacles… lac de lave du Karthala ou fontaines de la Fournaise…**

A La Réunion

A Agnès, Aurélie, Manu, le grand Gui, Philippe, Stefan, Jean-Luc, Nirmal, Fanta et Khalid, avec qui j'ai passé mes plus beaux moments réunionnais. Mes deux triplettes, j'aurais tant de choses à vous dire… Ce fut simplement grandiose, je crois que nous nous sommes offert quelque chose de rare… Mais Youyoute a déjà tout si bien exprimé dans ses propres remerciements qu'il faut, pour comprendre, lire des Réserves sous réserves (Thomassin, 2011) !!...

F'nouille, à peine cachés derrière tes polygones, gerbiklougs, cactus par milliers, cadeaux roses infames, diamseries et autres bizarreries en tous genres : ton soutien indéfectible, ton cœur sur la main, ton énergie et tes idées à revendre, ton hospitalité sans pareil. Tout comme Franck, je te dois infiniment. Grazie Dieci Mille El Pazzo dei Vulcani!

Merci Philippe pour ta bonne humeur constante, tous les bons moments passés à papoter sur terre et sous l'eau, et plus que tout pour ta patience héroïque face à mes éternels retards matinaux du week-end ;) Une pensée pour Anne-Christelle, les dalons de corail et les commissaires fous du Grand Raid! Manu, merci pour les bons délires partagés dans la *souricière Juge et Flic*, au milieu des bulldogs de la Baie de Saint-Paul et à la Plaine aux Sables : mon plus grand fou rire à ce jour ! Guillaume, après une rencontre sur un bateau en Méditerranée malgré notre petit étage d'écart, il fallait bien se douter que l'ironie du sort rôdait dans le coin… : nos pauses clope auront souvent été mes bouffées d'oxygène à la fac ! Merci pour ta douceur communicative, et longue vie à toi au milieu des requins. Khalid, j'ai longtemps regretté le temps de la complicité ; je t'espère heureux et serein. Une pensée pour Gaël, Théo, & co chez Bari, Tocco et à la TDM ! Merci Stefan pour cette jolie tranche de vie réunionnaise, faite d'étranges escapades sous les montagnes pour collecter ton futur *Nature (ah ah…)*, de refus catégoriques de te suivre dans les rouleaux, et de moments simples les pieds sur terre et dans le sable. Jean-Luc, merci, juste avant de partir pour Nouméa, d'avoir joué un rôle important en m'ôtant le doute que le doute est indispensable. Nartrouv' bientôt pour une partie d'éveil musical *arrangé* ?... Nirmal, Céline, je sais, je dois toujours passer… Enfin, merci Marie-Hélène pour ton accueil chaleureux dans l'ambiance familiale les veilles de cours au Tampon.

En Grande Comore

« Albert », Soilha, Ahmed Othman Ismael Mogne Daho et Mirgan, merci à vous et vos petites familles, qui avez réussi, malgré les difficultés du terrain comorien, à me faire aimer la vie à Ngazidja. Je reviendrai vous voir si j'en ai la possibilité. Pour le plaisir évidemment, mais aussi pour tenter d'entreprendre, à ma microscopique échelle, quelques projets utiles à l'avenir de votre île. Tanguy sera du voyage...

Ailleurs dans le monde :

A Rohani, Hary, Lelly, Maurel, Tirel, Arian, Denys, Gde, Radix, et autres grands-frères du Blok Pamungkas de la jalan Kaliurang, qui ne peuvent savoir, malgré le bonheur des instants vécus sur d'autres îles, combien j'ai souvent regretté de ne pas repartir vivre parmi eux. A Zely, Flavien, Solofo, Oni, Fanja, et Luc pour leur chalereux accueil à Tana lors de l'expertise UNESCO. A Hiroshi pour le chouette moment jusqu'à Kuala et la découverte des gyoza. Que ta région se remette vite. Aux yeux bleus de Dirk venu(s) me chercher à Happy Land, et à toutes les ballades à dos d'âne réalisées depuis. Enfin, au bel Adri avec qui nous aurons fait parler bien des étudiants... A l'incorrigible P-P qui aurait voulu que je décroche de mon étude des milieux insulaires pour mieux apprécier sa vision de l'insularité. Kraft est finalement avant tout le nom d'un papier… A O. : les chutes de Katanga m'ont remis du baume au cœur. A Marie-Thérèse, la voisine Martiniquaise de Simon Berjeaut : la mayonnaise a été dure à faire monter mais le Minotaure est - presque - vaincu et la parenthèse posée. A la Dream Team, qui devra lire quelques dizaines de pages de cette fameuse science molle comme la boue de Paterno pour voir si j'ai relevé le défi ailleurs qu'en préambule (Skip, je fournis la corde).

En métropole :

Au Kura-Kura, avec qui nous nous comprenons si bien… A Pascalou qui a toujours le bon mot. A Olivier pour la constance de ses encouragements (rdv sur les pistes pour te mettre la pâtée de ta vie ;)). Aux Diggadict bien sûr ! et aux Planet Riskeurs. A Coco, Chacha, et François Baud, les voisins morzinois, pour leur bonne humeur au cours des premières des « dernières » semaines de rédaction. Au Ouass pour ses histoires d'échelle, avec qui notre unique recherche de dépôts de tsunamis à La Réunion est synthétisable en quatre horribles jours de chienlit thouretienne… (Abats les courgettes !!). Aux couz' du Plessy, des Gets, du Biot et de Paris, pour notre complicité toujours retrouvée malgré des retrouvailles trop rares. A la smala du Xou (non, non, il ne vous ment pas, nous sommes toujours ensemble, je rédigeais bien ma thèse !...).

A Mam, Nico, JP, Marie-Do, Bernadette et Paguy, qui m'ont toujours soutenue avec amour. Mam', merci du fond du cœur pour ton soutien quoi que j'entreprenne, vive les cartes-poissons, les colliers-tortue, les réserves de gâteaux planquées et nos futures escapades ! Mon Paguyotte « adoré sous les palmiers et les cocotiers », j'espère avoir la même énergie que toi dans 55 ans pour gravir le Piton… Ma Gaïa pédaleuse, merci pour le regard plein de vie que tu portes sur le monde ; j'ai de la chance que tu m'en fasses régulièrement profiter. JP, plus la peine de la chercher à la fnac, tu as entre les mains LA bible de la volcanologie moderne !… Heum heum…

A Papi qui - même s'il ne comprenait pas vraiment l'utilité de tout ça - l'a toujours soutenu et aurait été content de le voir aboutir.

A Célia et Boun, Alex et Lilouth (& sa bande de joyeux cousins !), Elise et Eric, Briçou et ses bombes mexicaines…, et désormais Sonia et Flo : ma smala de toujours, mon équilibre. S'il y a bien une chose dont je ne doute pas dans la vie, c'est que, croulant sous le poids de l'âge, nous nous retrouverons toujours pour un tarot, un loup, un Noël en juillet, et que ce seront toujours les mêmes qui se taperont la corvée de salade verte !...

Enfin, à Ksou, avec qui nous avons affronté tiramisus et tsunamis en tous genres, interviews lubrifiées, choucroutes d'hurluberlus, achoppements divers et variés, ruptures d'amarres d'éléphant, j'en passe et des meilleures. Merci pour ta patience (!!) et ton aide précieuse des dernières semaines. Voir aboutir nos thèses *le même jour*, c'est chouette : ça donne envie de courir écouter le chant des coraux au lac d'Annecy, garder la banane, voir la vie en rose, bref, jouer aux mots obligatoires (ou à la barbichette...) et démarrer notre nouvelle vie en biodynamie. (Non, je ne finirai pas par une grande question…).

**MERCI A TOUS, MARAHABA MENJI !**

*'SCHLINK !', c'est l'heure… enfin.*

# Avant propos

La réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien financier du Conseil Régional de La Réunion, grâce auquel nous avons bénéficié d'une allocation régionale de formation doctorale d'octobre 2006 à septembre 2009.

Une partie des missions en Grande Comore a été réalisée dans le cadre du projet CORECOM (COopération en matière de REcherches environnementales aux COMores), mis en place par Anthony Finizola, qui nous a confié la réalisation de la partie « sciences sociales » du projet. CORECOM a été financé par le fonds F.R.R.O.I. (Fédération des Recherches Réunion - Océan Indien) de 2006 à 2009.

Le Laboratoire GéoSciences Réunion, relevant de l'UMR CNRS-IPGP 7154, a également fourni un soutien logistique et financier précieux.

Le SCAC de l'Ambassade de France à Moroni, grâce à la collaboration de Mme Bauer, a financé la reprographie des questionnaires de la campagne CRF 2007.

Le Comité d'Organisation de Cities On Volcanoes 6 nous a alloué une bourse de voyage pour pouvoir aller présenter nos travaux au congrès qui s'est déroulée à Tenerife en juin 2010.

La soutenance de ces travaux est financée par l'Ecole Doctorale des Sciences et Techniques de l'Université de La Réunion.

Enfin, Anthony Finizola, sponsor officiel de tant et tant d'étudiants de passage, m'a chaleureusement accueillie chez lui à plusieurs reprises au début de cette thèse, m'ôtant bien des préoccupations matérielles.

Sauf mention contraire, l'ensemble des figures et photographies présentées dans ce document a été produit par l'auteure.

Les dessins illustrant les pages de garde des différents chapitres ont été réalisés par des écoliers grand-comoriens lors de campagnes d'enquête en 2006 et 2007.

# Sommaire


**INTRODUCTION GENERALE** ..... **1**

**CHAPITRE I - GESTION DES RISQUES ET DES CRISES VOLCANIQUES** ..... **9**

1. *Clarifications sémantiques et conceptuelles autour des notions de risque et de crise* ..... *11*
2. *La gestion des risques et des crises volcaniques dans le monde* ..... *21*

**CHAPITRE II - DEUX TERRITOIRES INSULAIRES EXPOSES AU RISQUE VOLCANIQUE** ..... **47**

1. *Deux îles volcaniques tropicales au développement socio-économique contrasté* ..... *49*
2. *Des territoires exposés à la menace volcanique* ..... *67*

**CHAPITRE III - APPROCHE METHODOLOGIQUE** ..... **87**

1. *Réponses des institutions et populations face aux crises volcaniques : analyse des capacités théoriques* ..... *89*
2. *Réponses des institutions et populations face aux crises volcaniques : analyse d'événements récents* ..... *111*
3. *Synthèse méthodologique* ..... *129*

**CHAPITRE IV - LA GESTION DES CRISES VOLCANIQUES A LA REUNION : SIMPLE FORMALITE OU CASSE-TETE?** ..... **133**

1. *Evolution de la gestion des crises volcaniques à La Réunion jusqu'à l'éruption majeure de 2007* *135*
2. *Avril 2007 : gestion problématique d'une éruption ordinaire ou situation de crise exceptionnelle ?* ..... *151*

**CHAPITRE V - LES BALBUTIEMENTS DE LA GESTION DES CRISES VOLCANIQUES EN GRANDE COMORE** ..... **213**

1. *Naissance et évolution de la gestion des crises volcaniques en Grande Comore* ..... *215*
2. *Retour d'expérience sur la crise eruptive de 2006* ..... *227*
3. *Les lahars à Vouvouni depuis 2005 : gestion d'une crise durable* ..... *253*

**CHAPITRE VI - VERS UNE MEILLEURE GOUVERNANCE DES CRISES A LA REUNION ET EN GRANDE COMORE ?** ..... **279**

1. *Causes profondes des réponses apportées face aux crises volcaniques* ..... *281*
2. *Proposition de solutions pour l'amélioration de la gestion des crises volcaniques à La Réunion et en Grande Comore* ..... *307*

**CONCLUSION GENERALE** ..... **325**

**BIBLIOGRAPHIE** ..... **333**

**TABLES** ..... **359**

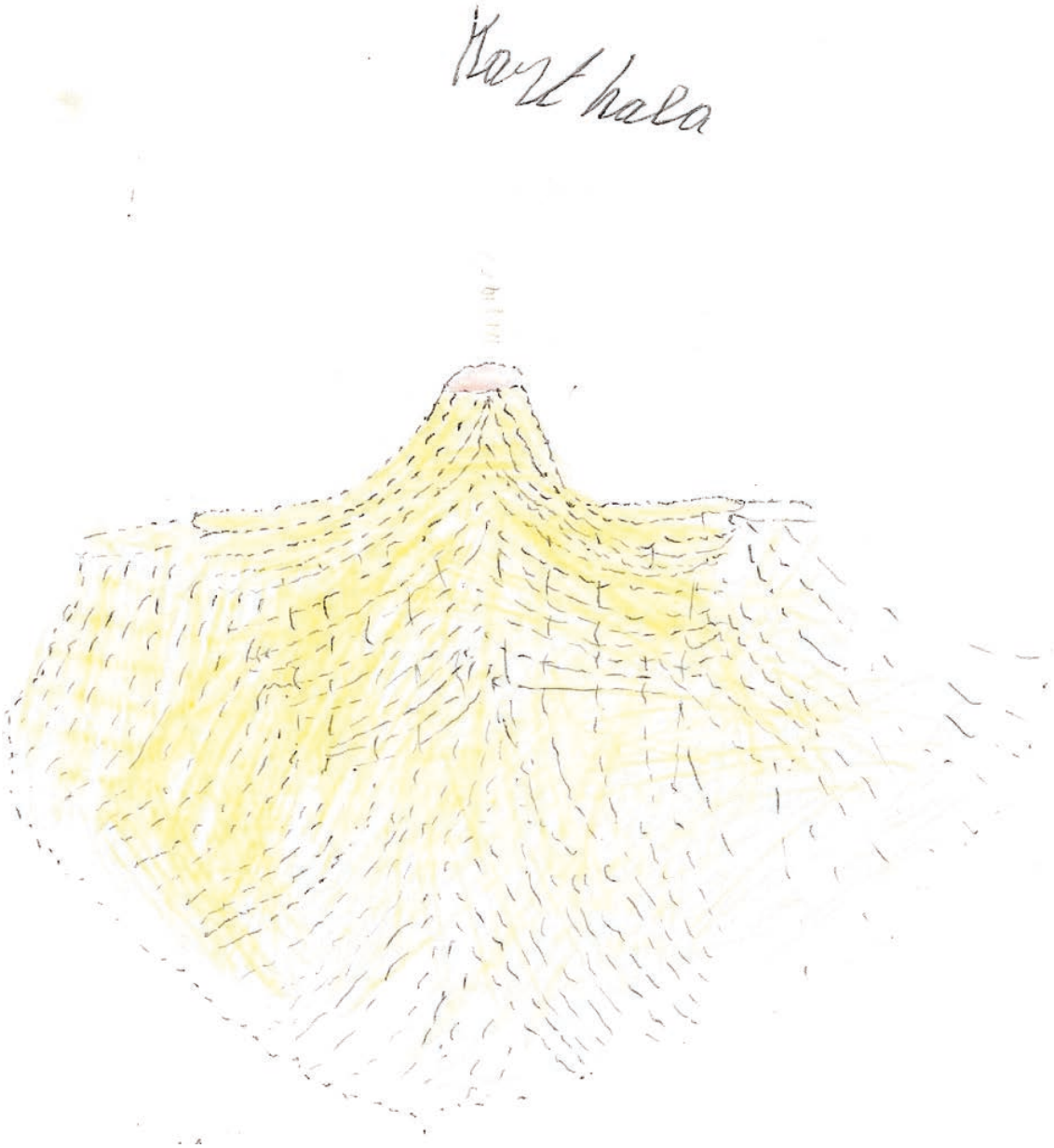
*Table des Matières* ..... *362*

*Table des Figures* ..... *364*

*Table des Tableaux* ..... *367*

**ANNEXES** ..... **A - 1**

# Introduction générale




Le Karthala par Abdou, en CE2 à Ntsinimoiponga, juillet 2007.

# Introduction générale



On recense environ 1500 volcans actifs émergés sur la planète, aux pieds desquels vivent plus de 450 millions d'individus [Chester *et al.* 2001]. Plus de 500 000 morts sont imputables au volcanisme durant la période historique [Blong 1996], et 5,6 millions de personnes ont été sinistrées par une éruption au XX$^{ème}$ siècle [Witham 2005]. Leone [2007] souligne une insuffisance des retours d'expérience portant sur ce type de catastrophes.

- **Le constat d'une recherche encore embryonnaire sur la gestion des crises volcaniques**

La gestion des crises volcaniques constitue un sujet de recherche à la fois récent et encore largement marginal. Les chercheurs en sciences de la Terre s'intéressent depuis environ trois décennies quasi exclusivement aux aléas, même si leurs études servent souvent directement la gestion des crises, à travers des zonages de l'aléa, des arbres d'événements fournissant une aide à la décision, des scenarii d'endommagement, etc. Les quelques géographes à s'être penchés sur ces questions se préoccupent quant à eux essentiellement de la vulnérabilité sociale, censée permettre d'appréhender la capacité de réponse des sociétés et des individus face à des crises potentielles [D'Ercole 1994] ou avérées. En revanche, le champ des vulnérabilités institutionnelles reste à ce jour largement inexploré [Leone 2007], alors qu'il est fondamental à la compréhension des situations de crise.

Ce manque global d'études tient sans doute à la grande complexité des crises, dont la compréhension nécessite une approche largement interdisciplinaire. Cerner toutes les dimensions d'une situation de crise exige en effet de comprendre le contenu et les mécanismes de l'expertise scientifique, le fonctionnement des sociétés concernées par l'événement, les représentations des acteurs impliqués dans la gestion, la dimension opérationnelle des crises, etc.. En somme, cela demande des compétences relevant aussi bien des sciences de la Terre que des sciences sociales et humaines, de l'information et de la communication, ou encore de la gestion opérationnelle. En raison de la carence d'études sur la question, [Lagadec 2002] souligne d'ailleurs que les chercheurs souhaitant étudier les crises doivent accepter « *la nécessité et le risque de travaux sans filet de sécurité d'une théorie solidement construite au préalable* » et s'appuyer sur des démarches empiriques. Un deuxième écueil rendant délicate la réalisation de travaux sur la gestion des crises, tient au fait que peu de chercheurs ont l'opportunité de vivre la crise au titre de leurs recherches. Dès lors, ils sont peu portés vers la réalisation de retours d'expérience (RETEX), que les opérationnels réalisent théoriquement eux-mêmes pour améliorer leurs capacités de gestion.

- **Un projet de thèse né au cœur des crises**

C'est justement le vécu de situations de crise qui nous a persuadés du caractère indispensable d'une étude sur le sujet. Nous avons, lors d'événements dans des contextes divers (Italie, Indonésie, La Réunion, Comores), fait le constat de gestions de crise qui ne satisfaisaient pas l'ensemble des acteurs, et révélaient certains dysfonctionnements.

Des observations faites en Grande Comore dans le cadre de nos travaux de Master[1] nous ont

[1] Master Gestion des Risques et des Catastrophes de l'Université Montpellier III

définitivement convaincus de la nécessité d'approfondir la question de la gestion des crises volcaniques sur cette île pour proposer des remèdes aux carences entrevues. C'est dans cet esprit qu'a été monté notre projet de thèse. A ce choix initial s'est greffé celui d'une étude similaire sur l'île de La Réunion, pour des raisons d'ordres à la fois scientifique et matériel. Sur le plan scientifique, la Fournaise étant l'un des volcans les plus actifs et les mieux instrumentés au monde, ce terrain assurait *a priori* de nombreuses possibilités d'observation et d'analyse. Par ailleurs, un séjour sur l'île pendant une période éruptive en 2006, et en pleine polémique sur la gestion de l'épidémie de Chikungunya, nous avait laissé entrevoir des modalités de gestion des crises loin d'être exemplaires. Enfin, les deux îles étant relativement proches dans le bassin indo-océanique occidental, et dotées d'un volcanisme relativement comparable, elles offraient la possibilité d'une approche comparée de la gestion des crises volcaniques dans deux milieux très distincts au plan socio-économique. Cela devait ainsi permettre de comprendre ce qui constitue le fondement des crises pour les populations et les autorités dans ces contextes si différents. Se sont ajoutées des considérations purement matérielles, liées à la présence d'un laboratoire de recherche en sciences de la Terre à La Réunion, inexistant en Grande Comore.

Dès 2006, nous avons ainsi mis en évidence le caractère indispensable de retours d'expérience sur les crises volcaniques liées au Piton de la Fournaise à La Réunion et au Karthala en Grande Comore [Villeneuve et al. 2006]. En avril 2007, à peine un mois après le début de nos travaux, le Piton de la Fournaise a produit « l'éruption du siècle », nous fournissant un beau cas d'étude de gestion de crise.

- **L'inscription du projet dans des dynamiques locales à internationales**

Ce sujet de thèse répond à des besoins scientifiques et opérationnels manifestes aux échelles communautaires, locales, nationales, et internationales, que l'on peut décliner en cinq points :

(1) Le développement nécessaire de travaux scientifiques sur la gestion des crises, évoqué précédemment.

(2) L'intégration de chercheurs en sciences humaines dans l'étude des crises volcaniques.

Aux échelles nationale et internationale, les financeurs (Agence Nationale de la Recherche, Union Européenne, fonds privés, etc.) favorisent désormais les projets de recherche interdisciplinaires (réunissant chercheurs de divers domaines scientifiques issus des sciences de la Terre, des sciences de l'Ingénieur et des sciences humaines et sociales), et associant des équipes de recherche aux autorités de protection civile. De nombreux programmes récents portant sur le risque volcanique intègrent désormais cette dimension (EXPLORIS, CASAVA, MIA VITA, ou SEDIMER par exemple[2]). Les communications de chercheurs en sciences humaines occupent d'ailleurs une place grandissante, bien que toujours marginale, dans les colloques dédiés à la volcanologie tels que *Cities on Volcanoes*.

A l'échelle régionale, les Assises de la Recherche dans l'Océan Indien, organisées à La Réunion en 2003, ont fait de la réduction des risques majeurs un thème d'étude central. Ces Assises ont révélé que le renforcement de l'approche pluridisciplinaire était un enjeu majeur de la recherche sur les risques, jusque-là

[2] EXPLORIS : Explosive Eruption Risk and Decision Support for EU Populations Threatened by Volcanoes ; CASAVA : Compréhension et Analyse des Scénarios, Aléas, et risques Volcaniques aux Antilles - Implications pour l'aide à la décision, la gestion de crise, et le développement raisonné ; MIA VITA : MItigate and Assess risk from Volcanic Impact on Terrain and human Activities ; SEDIMER : Sediment-related Disasters and Hazards following the 2010 centennial eruption of Merapi Volcano (Indonesia).

trop souvent cantonnée à l'étude de l'aléa [Réunion 2003].

C'est dans ce contexte d'ouverture thématique et interdisciplinaire qu'a été accomplie cette thèse, qui tout en abordant un sujet propre aux sciences de la Terre (crises éruptives) est guidée par des approches propres aux sciences humaines et sociales (évaluation et cartographie des impacts, spatialisation des représentations du risque, étude des processus de gestion de crise, analyse du traitement médiatique, etc.).

(3) La création de liens entre scientifiques, populations et opérationnels, pour rendre les résultats des recherches directement applicables.

Localement, les populations et certains acteurs de la gestion de crise ont plébiscité la réalisation de tels travaux aussi bien à La Réunion (ONF, Parc National, EMZPCOI) qu'en Grande Comore (COSEP). Ces demandes sont pour certaines intervenues en amont de la conception du projet de thèse, pour d'autres au cours de sa réalisation.

Une partie de notre thèse s'inscrit d'ailleurs dans des programmes de réduction du risque et de préparation aux crises, dans lesquels nous avons été sollicités (ou impliqués) : « Projet de réduction des risques liés au volcan Karthala » en Grande Comore de 2007 à 2010, préparation du Plan de Contingence de l'Union des Comores en 2008, et dans une moindre mesure participation au projet d'éducation aux risques naturels « Paré pas Paré » mis en place par la Croix Rouge Française à La Réunion en 2011. Cette valorisation avale de résultats de recherche est encouragée par le Haut Conseil de la coopération internationale : « *Dans l'ensemble, les ONG françaises font de plus en plus appel à des personnes de niveau académique élevé pour assoir leurs interventions sur des bases scientifiques. Elles mobilisent la recherche pour des évaluations et des expertises, parfois pour une recherche opérationnelle ou encore pour améliorer leurs modalités de fonctionnement sur le terrain.* […] *La capacité de la recherche à valoriser ses résultats, à les traduire en connaissances utiles à l'action, à répondre aux questions stratégiques et opérationnelles que posent les enjeux du développement, est plus cruciale que jamais.* » [HCCI 2006].

(4) La systématisation des procédures de RETEX.

En France, la pratique des retours d'expérience est aujourd'hui une des priorités du Ministère de l'Intérieur, qui a institutionnalisé cette pratique à travers la loi de modernisation de la sécurité civile du 13 août 2004. Dans la mesure où aucun RETEX officiel n'a été mené sur l'éruption de 2007, notre étude répond à une carence. Le Schéma de Prévention des Risques Naturels de La Réunion rappelait d'ailleurs récemment la nécessité de réaliser « *une monographie relatant les évènements et les expériences utiles à tirer de la gestion* » de « *chaque crise majeure ayant déclenché un plan de secours ou d'intervention* » [SOGREAH 2011].

(5) L'amélioration des capacités de gestion des crises.

A l'échelle des îles, le traitement de l'ensemble de thématiques présentées ci-dessus doit contribuer à une amélioration des capacités de gestion des crises.

D'un point de vue institutionnel, le lancement de cette thèse s'est également inscrit dans une dynamique de développement des capacités de gestion des crises volcaniques au sein de l'Institut de Physique du Globe de Paris. L'IPGP avait alors charge les observatoires volcanologiques de la Montagne Pelée et de la Soufrière aux Antilles françaises, du Piton de la Fournaise à La Réunion, du Karthala en Grande Comore, et, s'apprêtait, en 2008, à assurer la co-direction de l'observatoire de La Soufrière Hills à Montserrat. L'idée de créer une « *Task Force* » regroupant des scientifiques prêts à une intervention rapide sur les volcans

(du territoire français mais aussi à l'étranger) était également en train d'émerger. La Guadeloupe, la Martinique et La Réunion étaient désignées comme les cibles prioritaires de cette *Task Force*, censée permettre une réflexion sur les actions à mener en amont d'une gestion de crise. Les Sciences Humaines et Sociales ont été reconnues utiles et intégrées à la constitution de cette *Task Force*. Plus localement, souhaitant marquer sa volonté d'ouverture à la thématique des risques, le Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de la Réunion (LSTUR) est devenu Laboratoire GéoSciences Réunion (LGSR).

La réalisation de cette thèse répond donc à plusieurs titres aux besoins exprimés en matière de recherche et au plan opérationnel.

- **Objectifs et positionnement conceptuel**

Cette thèse vise à une analyse et à un renforcement des capacités de gestion des crises volcaniques dans la région sud ouest de l'Océan Indien à travers une meilleure compréhension des réponses apportées par les populations et institutions face aux menaces volcaniques. Ces réponses sont étudiées par catégories d'acteurs, sur le court terme (syn-éruptif) et le moyen terme (environ quatre ans après les éruptions étudiées), à l'échelle des massifs volcaniques d'une part, et de communautés villageoises en second lieu.

Le premier objectif de la thèse consiste à capitaliser l'expérience en matière de gestion des crises volcaniques, en produisant des RETEX sur les éruptions de mai 2006 en Grande Comore et avril 2007 à La Réunion, et sur les lahars consécutifs aux éruptions de 2005 en Grande Comore. Le choix de ces événements a été conditionné par leur vécu direct. Ainsi, cette thèse est essentiellement fondée sur des données de terrain primaires, recueillies pendant les crises et complétées lors des RETEX. Principalement qualitatives, ces données sont issues d'observations et d'enquêtes reposant sur des questionnaires, entretiens, ou discussions plus informelles auprès des populations, autorités, scientifiques et médias.

Ces RETEX doivent alors permettre de rechercher les fondements des facteurs crisogènes (autrement appelés « signaux faibles » par les opérationnels) afin d'identifier des solutions pour limiter le développement des crises.

Notre analyse s'inscrit à l'interface de trois paradigmes (détaillés en Chapitre I) cherchant à expliquer les comportements face aux aléas naturels : (1) la capacité à faire face serait essentiellement liée à la représentation de l'aléa (approche dominante) ; (2) à l'existence de vulnérabilités socio-économiques préexistantes profondément ancrées et échappant au contrôle des individus (approche radicale) ; et (3) à un manque de préparation à la gestion de crise d'autre part (approche connue sous le nom de « *preparedness* »).

Ces travaux ont une visée opérationnelle. Ils doivent conduire au développement d'outils de sensibilisation, de communication et de gestion permettant aux acteurs institutionnels, opérationnels, scientifiques, et aux populations de faire face plus efficacement aux crises volcaniques.

- **Choix des échelles d'étude**

Sur chacune des îles, nos recherches ont été réalisées à plusieurs échelles.

La gestion des risques et des crises et les représentations des populations ont fait l'objet d'études globales à l'échelle insulaire, notamment via des entretiens dans les administrations et questionnaires distribués en milieu scolaire dans l'ensemble des communes réunionnaises et villages grand-comoriens.

Nos travaux se sont ensuite focalisés sur des zones présentant des caractéristiques particulières d'exposition et de vulnérabilité : les communes de Sainte-Rose et Saint-Philippe dans le sud est de La Réunion, et la région Bambao au Centre Ouest de la Grande Comore.

Finalement, une communauté villageoise fortement vulnérable, et affectée par une ou des crises volcaniques récentes, a été sélectionnée et intégrée sur chaque île. Au-delà d'une étude des représentations, une analyse des capacités et vulnérabilités y a été menée. A La Réunion notre choix s'est porté sur le village du Tremblet, impacté par les éruptions volcaniques de 1986 et 2007, et l'un des plus isolés de l'île (réseaux très peu développés, grande précarité socio-économique). Une seconde « communauté » a été ciblée : celle des nombreux randonneurs fréquentant la zone sommitale du Piton de la Fournaise. La question ne s'est pas posée en Grande Comore car le Karthala n'est fréquenté que par de rares touristes. Sur cette île, notre choix initial s'était porté sur Nkourani Sima, village le plus proche des cratères et le plus isolé de l'île. Nous avons dû renoncer à ce terrain pourtant passionnant, précisément du fait des grandes difficultés d'accès. L'autre communauté, pressentie dès 2006[3], présente également un grand intérêt. Il s'agit de Vouvouni, village situé à quelques kilomètres au sud de Moroni, très régulièrement impacté par des lahars depuis les éruptions survenues en 2005. Proche de la capitale, ce village peut être approché en une heure à pieds, ce qui présente l'intérêt majeur de pouvoir poursuivre le travail de recherche en cas de pénurie de carburant.

- **Structure de la thèse**

Le Chapitre I clarifie les principaux concepts utilisés au cours de la thèse (risque, crise, gestion des risques et des crises), et expose les grands paradigmes cherchant à expliquer les réponses adoptées face aux aléas naturels. Il s'ensuit un état des connaissances sur les risques et crises volcaniques, et les réponses qui leur sont associées.

Le Chapitre II est dédié à la présentation synthétique des contextes réunionnais et grand-comorien. Nous établissons dans un premier temps une synthèse historique et géographique des facteurs structurant l'organisation sociale et territoriale, et la politique de gestion des risques sur les deux îles. Cela permet de dresser un état des lieux général des capacités et vulnérabilités des systèmes étudiés, et donc de la capacité théorique à répondre aux crises. Un intérêt particulier est porté, dans un second temps, à l'exposition de ces territoires aux menaces volcaniques. Ce chapitre pose ainsi les bases nécessaires à la compréhension des analyses de la gestion des crises dressées dans les Chapitres IV à VI.

Le Chapitre III est consacré à la présentation des méthodes employées pour évaluer les capacités de réponse et les réponses effectives en temps de crise, aux échelles insulaires comme à celle des communautés. La principale originalité de ce travail est de proposer des observations directes couplées à des enquêtes pendant les crises étudiées, suivies de retours d'expérience à court et moyen terme (jusqu'à quatre ans après les événements).

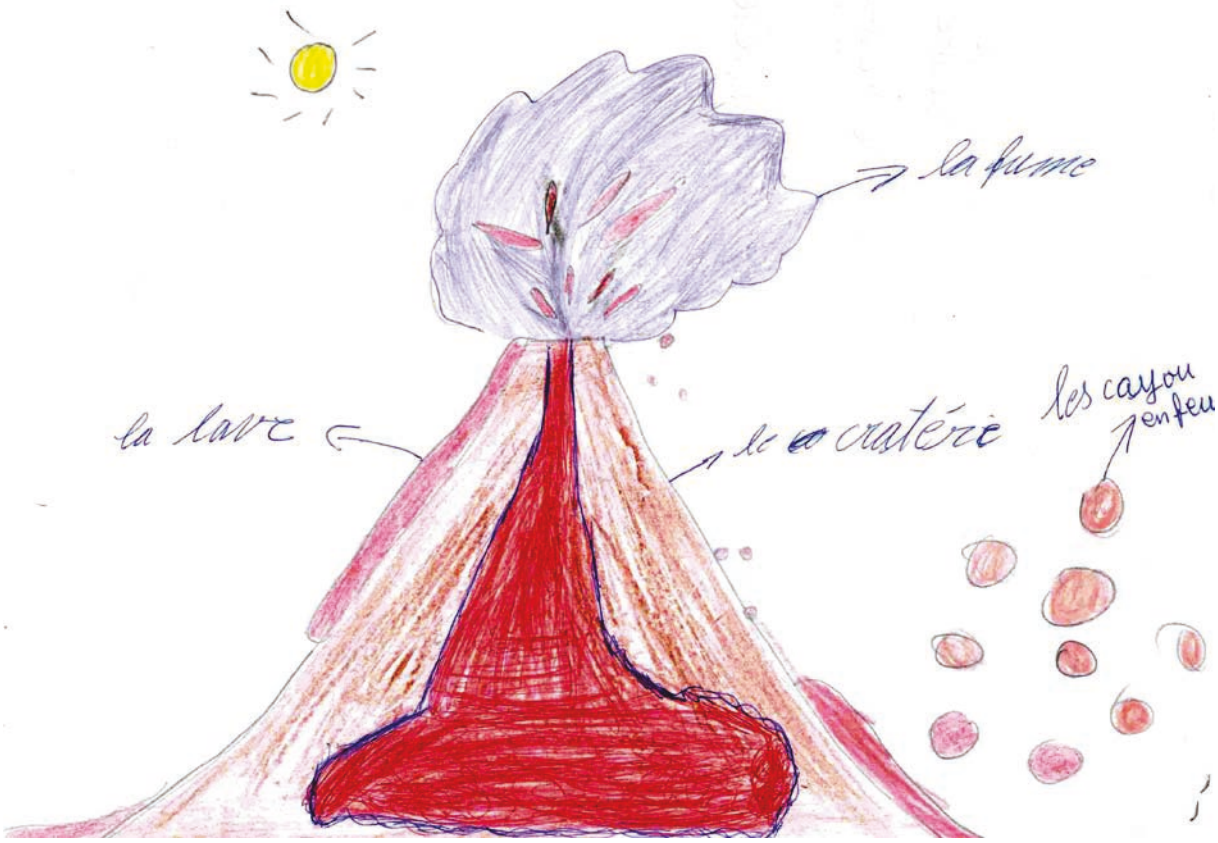
Les Chapitre IV et V, respectivement dédiés à La Réunion et à la Grande Comore, suivent une même structure. Un bilan des crises éruptives passées est d'abord dressé pour expliquer leur influence sur l'évolution de la gestion des crises (prévision, alerte, gestion de crise, évacuations, etc.), jusqu'à la survenue des éruptions faisant l'objet de nos RETEX. Ce bilan s'arrête donc en avril 2007 à La Réunion, et

[3] Les stratégies d'adaptation face aux lahars observées dans ce village lors de notre terrain de Master en 2006 nous avaient immédiatement convaincue de la nécessité d'en faire un cas d'étude.

en mai 2006 en Grande Comore. Nous nous intéressons alors à la gestion de ces deux éruptions et à leurs impacts. A La Réunion, où la crise éruptive a duré un mois, l'étude globale de l'événement est complétée par une analyse de quatre temps forts identifiés comme problématiques dans la gestion de crise. En Grande Comore, s'ajoute un RETEX sur la gestion des lahars consécutifs aux éruptions de 2005 dans la région de la capitale, Moroni.

Enfin, en Chapitre VI, nous cherchons à identifier les causes profondes des dysfonctionnements révélés lors des RETEX. Des facteurs institutionnels, culturels, socio-économiques et territoriaux influençant les réponses face aux crises volcaniques sont mis en évidence. Ils sont pris en considération pour proposer des pistes d'amélioration de la gestion des crises dans les deux îles, adaptées à l'ensemble des acteurs.

# Chapitre I - Gestion des risques et des crises volcaniques




Le Karthala par Nadjwa, en CM1 à Moroni, mai 2007.

# Chapitre I - Gestion des risques et des crises volcaniques



Ce chapitre est dédié à la compréhension des notions de risque, de crise, et de gestion du risque et des crises. Les concepts généraux et paradigmes qui y sont associés sont brièvement explicités, afin d'amener progressivement le lecteur à la question des crises volcaniques.

Nous verrons que ces dernières revêtent une dimension particulière. Elles sont complexes à gérer dans la mesure où les aléas volcaniques sont variés, et où l'incertitude de la prévision volcanologique est forte. Il y a donc un grand intérêt à les étudier.

## 1. CLARIFICATIONS SEMANTIQUES ET CONCEPTUELLES AUTOUR DES NOTIONS DE RISQUE ET DE CRISE

Une clarification sémantique et conceptuelle s'impose pour appréhender correctement ce manuscrit et la problématique qu'il porte. Ceci est d'autant plus vrai que ce travail, s'il relève d'une approche géographique, a été réalisé au sein d'une équipe de sciences de la terre.

De nombreuses disciplines s'intéressent aux questions du risque et des crises, chacune les abordant avec des concepts et une approche (étude des causes, effets, processus) qui lui sont propres. L'opposition est particulièrement marquée entre les sciences sociales, pour lesquelles le risque est une notion socialement construite (jeux d'acteurs, perceptions et représentations individuelles et collectives, etc.) étudiée via des méthodes qualitatives, et les sciences dites *dures* pour lesquelles le risque se mesure à l'aide d'indicateurs par le biais de méthodes quantitatives. Ruin [2007] note que l'interdisciplinarité prônée actuellement se traduit bien souvent par une simple juxtaposition de regards disciplinaires et souligne que « *la géographie, à mi-chemin entre les deux approches et leurs méthodologies, est* [peut-être] *la plus à même de jouer les entremetteuses* ».

### 1.1. LA GESTION DU RISQUE

#### 1.1.1. Le risque, une notion polysémique

Les définitions disponibles dans Le Petit Robert [1991] illustrent la polysémie du *risque* dans le langage courant :

(1) « *Danger éventuel plus ou moins prévisible* ». Sont indiqués comme corolaires : *danger*, *hasard*, *péril* et d'*inconvénient* et l'expression « *Au risque de : en s'exposant à* » ;

(2) « *Eventualité d'un événement ne dépendant pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer la perte d'un objet ou tout autre dommage.* (…) *Par extension : Événement contre la survenance duquel on s'assure.* » ;

(3) « *Le fait de s'exposer à un danger (dans l'espoir d'obtenir un avantage)». « Oser* ».

Ces définitions mettent en lumière :

- la dimension probabiliste du risque à travers le caractère aléatoire de l'événement ou du danger (1, 2), le danger étant parfois assimilé au risque (1) alors que les deux termes ne sont pas synonymes : « *Le risque*

*est une éventualité, une probabilité de danger* » [Chaline et Dubois-Maury 1994] ;

- l'idée d'exposition volontaire ou involontaire au danger (1, 2, 3) ;

- l'endommagement potentiel, c'est-à-dire la propension à subir des pertes ou dommages (2) et par opposition le bénéfice qu'on peut tirer du fait de s'exposer (3). On retrouve souvent cette interprétation duale du risque, parfaitement exprimée dans la traduction chinoise du risque (weij-ji) : *weij* signifie chance, *ji* danger.

- la possibilité de prévenir le risque, de s'en prémunir (2), « s'assurer » pouvant faire référence à l'univers assurantiel proprement dit comme à tout autre type de mesure pour faire face au danger et/ou à ses conséquences : c'est le domaine de la gestion du risque.

Dans le domaine des risques *dits* naturels[4], la définition communément admise[5] est synthétisée par la formule *risque* = *aléa* x *(enjeux* x *vulnérabilité)*. L'*aléa* y représente le danger, les *enjeux* les éléments exposés. La notion fondamentale de *vulnérabilité* des enjeux vient compléter la définition donnée dans le langage courant.

« *Les risques naturels résultent du croisement entre la probabilité qu'un phénomène naturel destructeur se réalise et les dommages possibles que ce phénomène pourrait entrainer sur des biens ou des personnes dans une zone donnée.* » [Leone *et al.* 2010].

#### ❖ *Aléas*

L'aléa désigne à la fois le phénomène potentiellement destructeur lui-même et la probabilité qu'il se réalise pour une puissance donnée dans un espace donné à un instant *t*. Il est ainsi caractérisé par une probabilité d'occurrence, une extension spatiale et une magnitude que Thouret et Leone [2003] définissent comme ses composantes temporelle, spatiale et énergétique.

La forte magnitude d'un aléa est généralement corrélée à sa rareté. L'intensité [Beck 2006] est parfois substituée à la magnitude pour désigner la composante énergétique. Le terme est ambivalent car il désigne en plus de l'énergie les conséquences de l'événement (dommages et ressenti des populations) alors que la magnitude est une stricte mesure de l'énergie physique libérée. La composante temporelle est parfois exprimée sous forme de fréquence ou de période de retour (l'inverse de la probabilité d'occurrence ; soit une « *durée théorique moyenne, exprimée en année, qui sépare deux occurrences d'un phénomène donné, si l'on considère une période de temps suffisamment longue* » [Prim.net 2010]. L'extension spatiale d'un phénomène est très variable, du local au global.

La nature de l'aléa menaçant sert généralement de base à la classification des risques. On oppose classiquement les risques dits *naturels* (qui ont pour origine les aléas *naturels* : avalanches, feux de forêt, inondations, mouvements de terrain, cyclones, tempêtes, séismes et éruptions volcaniques) aux risques technologiques, d'origine anthropique, qui regroupent les risques industriel, nucléaire, biologique, de rupture de barrage, de transports collectifs... S'y ajoutent les risques de la vie quotidienne (accidents

[4] L'expression "risques dits naturels" devrait être utilisée à la place de celle de "risques naturels", le risque étant le plus souvent socialement construit, c'est-à-dire engendré ou amplifié sous l'action anthropique. La nuance sera développée au cours de cette partie. Il en va de même pour la notion d'aléa naturel. Pour alléger le texte, nous parlerons dans le reste du manuscrit de "risque naturel". Cette remarque s'applique également au terme « catastrophe ».

[5] Une définition plus complète du risque que le 'classique $R = A \times (E \times V)$' propose la formule : $R = f(A, E, V, I, t, s)$, où $R$ est le risque, $A$ l'aléa, $E$ les enjeux, $V$ la vulnérabilité, $I$ la résilience, $t$ le temps et $s$ l'espace. Il explicite la notion de résilience (qui pourrait ne pas apparaitre dès lors que l'on considère qu'elle est intrinsèque à la vulnérabilité), et les notions de temps et d'espace. Cette conjonction spatio-temporelle entre phénomène menaçant et éléments vulnérables (autrement dit l'exposition) est précisément la dimension qui intéresse les géographes dans l'étude des risques.

domestiques, accidents de la route...) et les risques liés aux conflits, soit cinq familles distinctes de risques [Prim.net 2010] déterminées en fonction de la nature des aléas.

D'autres types de classification, qui se superposent à cette classification par nature d'aléa, permettent de définir le risque. La fréquence d'un aléa au regard de son intensité permet de dire si le risque est *acceptable* ou non. La courbe de Farmer [1977], en mettant en relation fréquence de l'aléa et gravité des conséquences (donc en prenant en compte les enjeux et leur vulnérabilité), permet de qualifier le risque de *majeur* (faible fréquence, énorme gravité) ou non.

#### ❖ *Enjeux et vulnérabilités*

« *Les enjeux sont définis par les biens et les personnes exposés directement ou indirectement aux aléas. Ils se caractérisent par une vulnérabilité qui reflète la fragilité des biens, des personnes, des systèmes sociaux, des territoires face aux aléas (…)* » [Leone *et al.* 2010]. Cette vulnérabilité des éléments exposés représente la susceptibilité à subir des dommages et la capacité à s'en remettre, autrement dit le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux.

Une typologie a été dressée par Leone et Vinet [2006] pour synthétiser les différentes vulnérabilités par nature d'enjeux : structurelle pour les infrastructures, corporelle pour les personnes physiques, humaine ou sociale pour les populations, institutionnelle concernant les dysfonctionnements potentiels dans le système de décision, fonctionnelle pour les activités, environnementale pour les différentes composantes du milieu naturel. Beck [2006] y ajoute une vulnérabilité systémique prenant en compte d'éventuels effets domino en se basant sur les travaux de Minciardi *et al.* [2006], et une vulnérabilité des lieux selon le concept développé par Cutter [1995]. Les enjeux sont donc, en fonction de leur nature, plus ou moins directement tangibles, peuvent avoir une valeur monétaire ou non monétaire.

Tout comme pour le risque, les définitions et approches de la vulnérabilité ont fortement évolué au cours des dernières décennies.

Les géographes français ont jusqu'à la moitié des années 1990 étudié la vulnérabilité essentiellement par une entrée « aléa » en insistant sur la notion d'endommagement [Leone 1995 ; Beck 2006]. La vulnérabilité « physique » fait alors référence à un « *niveau de conséquences prévisibles d'un aléa donné sur des enjeux affectés par cet aléa* » [Leone *et al.* 2010]. C'est la susceptibilité à subir des dommages.

A partir de cette date, certains auteurs [Chardon 1994 ; D'Ercole 1994] amènent une valeur socioculturelle dans l'étude de la vulnérabilité, désormais envisagée sous l'angle des capacités de réponses des sociétés face à des crises potentielles [D'Ercole 1994], de « *leur éventuelle capacité à se restaurer, s'améliorer après un dommage (résilience)* » [Leone *et al.* 2010]. La capacité à se prémunir des menaces potentielles est en partie déterminée par les représentations sociales du risque, qui « *conditionnent l'interprétation d'un phénomène et donc le comportement immédiat face à ses effets. Elles interviennent dans la définition des seuils d'acceptabilité, dans la capacité des individus à évaluer le risque* » [Veyret 2001].

Parallèlement, d'autres auteurs s'intéressent au couplage des vulnérabilités matérielles et fonctionnelles dans l'évaluation des risques [Reghezza 2006, 2009]. De somme de dommages potentiels, la vulnérabilité devient la synthèse de multiples facteurs, intrinsèques et exogènes, agissant directement ou indirectement [Leone et Vinet 2006], évolutifs dans le temps comme l'espace.

Au final, un risque peut résulter de plusieurs combinaisons d'aléas et de vulnérabilités, variables en nature comme en intensité (aléa faible et forte vulnérabilité, aléa fort et faible vulnérabilité, aléa moyen à fort et vulnérabilité moyenne à forte). Diminuer l'un ou l'autre des éléments permet de réduire le risque.

### 1.1.2. Maintenir le risque dans sa dimension potentielle et se préparer aux crises

#### ❖ *Le cycle de la gestion du risque*

Le cycle de la gestion du risque[6] repose sur :

- L'évaluation du risque (prévision généralement à long terme), qui consiste à caractériser les aléas (grâce aux données sur les événements passés et aux modélisations) et analyser la vulnérabilité des communautés et des biens exposés. Elle fait l'objet d'une restitution cartographique intégrée aux documents réglementaires tels que le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM). Des scenarii prospectifs sont établis pour savoir à quel type d'événement s'attendre.
- Une fois le risque identifié, des mesures de prévention pour le réduire s'imposent. La réduction des risques peut passer par une action directe sur l'aléa, en empêchant son occurrence ou en diminuant son intensité grâce à des parades actives - digues, paravalanches, zones d'expansion des crues, etc. -. Elle peut également prendre la forme d'une réduction de la vulnérabilité, en limitant les biens exposés - mesures d'aménagement raisonné du territoire -, en les dotant des moyens de faire face à l'aléa en limitant les dommages grâce à des parades passives - constructions parasismiques, merlons de protection, etc. -, ou à ses conséquences - assurances permettant de bénéficier de la garantie « catastrophes naturelles » pour l'indemnisation des dommages -. L'information préventive, vouée à sensibiliser les populations aux risques encourus, constitue un volet essentiel de la réduction des vulnérabilités. En France, la mise en place de la plupart de ces mesures revêt une obligation légale (Plans de Prévention des Risques, Document d'Information Communale sur les Risques Majeurs, etc.).
- Avant la survenue de l'événement, la planification doit permettre de préparer au mieux une éventuelle gestion de crise. Elle permet d'organiser la diffusion de l'alerte, les dispositifs de communication de crise, les moyens de secours à différentes échelles (Plan Communaux de Sauvegarde à l'échelon local, Plans de Secours Spécialisés spécifiques à chaque type de risque, Plan ORSEC quand les moyens locaux sont dépassés) etc. Dans l'idéal, les plans doivent être testés au moyen d'exercices de simulation grandeur nature.
- La prévision à court terme et l'alerte jouent un rôle fondamental pour la mise en protection des personnes (et dans certains cas des biens). Elles reposent sur des procédures de surveillance/vigilance dédiées par type d'aléa et des systèmes d'alerte dédiés aux populations comme aux personnes en charge de la gestion de l'événement, à différentes échelles (locale à internationale), et s'appuyant sur différents systèmes (sirènes, médias, automates d'appel, porte à porte, etc.).

L'ensemble de ces mesures est censé permettre aux sociétés de réagir rapidement de façon adaptée aux événements qui surviennent.

#### ❖ *Un cycle théorique inapplicable ?*

En pratique, toutefois, leur mise en œuvre rencontre des écueils.

D'une part, cette théorie se prête très bien aux pays et populations qui ont les moyens de la mettre en œuvre, mais est mal applicable dès lors que l'on considère des zones précaires sur le plan économique,

[6] Souvent présenté sous forme de cercle pour montrer que l'analyse des événements passés nourrit théoriquement l'amélioration de la gestion des futures crises.

instables d'un point de vue politique ou très densément peuplées. De façon générale, quel que soit le contexte, les mesures de prévention sont perçues comme coûteuses et incompatibles avec les objectifs de développement, en particulier lorsqu'il s'agit de définir des mesures restrictives d'aménagement du territoire. Une absence de volonté politique peut alors être à l'origine de leur inapplicabilité, de même que des intérêts personnels peuvent rendre les mesures de prévention caduques (non-respect de la loi littoral en France, constructions anarchiques sur les pentes du Vésuve en zone rouge à Naples, etc.). A cela s'ajoutent des cloisonnements scientifiques et sectoriels qui rendent complexe l'élaboration des mesures.

D'autre part, le modèle de gestion proposé relève généralement d'une vision très technocratique, dite *top-down*, qui laisse une place limitée à la concertation alors que le référentiel d'acceptabilité du risque est différent pour chacun des acteurs. Les autorités se posent en émettrices de conditions imposées à des populations réceptrices, dont l'avis et les intérêts divergent parfois fortement de ceux des autorités, dans le cas de procédures d'expropriation notamment. Les suites de Xynthia ont révélé ces dissonances, obligeant les autorités à revoir la localisation des zones noires[7].

Dans de nombreux contextes, les populations tirent bénéfice de leur exposition dans des zones à risques, où leur accès aux ressources (financières, foncières…) est facilité [Gaillard *et al.* 2010a]. Cet élément est totalement négligé par les gestionnaires institutionnels qui envisagent essentiellement le risque comme une somme de dommages potentiels, sans faire de bilan de type coût-bénéfice.

Pour ces raisons, les mesures envisagées - lorsqu'elles le sont -, ne suffisent pas toujours à empêcher le développement de situations de crise, voire de catastrophes.

## 1.2. LA GESTION DES CRISES

### 1.2.1. La concrétisation du risque

Nous avons vu qu'un risque est défini par la conjonction spatiale et temporelle entre l'occurrence d'un phénomène, et la présence « *d'une société assortie d'une certaine vulnérabilité et dotée de capacités à faire face aux dommages éventuels* » [Gaillard *et al.* 2010a]. La transformation d'un risque en catastrophe nécessite donc, elle aussi, un recours au concept de vulnérabilité. Cette idée a été exprimée pour la première fois dans un échange épistolaire entre Rousseau et Voltaire sur la signification du tremblement de terre de Lisbonne de 1755 (exemple abondamment cité dans la littérature). « *A cette occasion, pour la première fois dans l'histoire de la pensée occidentale, apparaissait clairement l'idée que la volonté divine n'était pas la seule cause d'une catastrophe majeure ayant causé quelque 10 000 morts et que celle-là pouvait aussi être le fruit de « vulnérabilités » permises par la main même de l'homme* » [Portal 2009]. Le risque se situe donc lors de la période d'incubation avant que la catastrophe se déclare [Turner 1978].

#### ❖ *De l'incident à la catastrophe*

Plusieurs échelles ont été proposées pour décrire le degré de concrétisation du risque, reposant sur une évaluation de la gravité des dommages (directs et indirects, s'exerçant sur des pas de temps plus ou moins prononcés, réversibles ou non). Ainsi, on distingue classiquement le simple incident, l'accident, l'accident grave, la catastrophe (désastre) et la catastrophe majeure (voire la super catastrophe). Les seuils d'endommagement sont très variables en fonction des références. Pour le Ministère du Développement durable, une catastrophe est définie sur des critères de dommages humains et matériels : entre 10 et 99

[7] Ces zones ont été délimitées par les services de l'Etat suite au passage de Xynthia en Vendée. Elles caractérisent les zones de risque maximal, non acceptable, impliquant l'expropriation des habitants et la démolition du bâti.

morts et 300 à 3000 millions d'euros de dommages. Au-delà on parle de catastrophe majeure. En deçà, on reste dans le domaine de l'accident, voire de l'incident (aucun blessé, moins de 0,3 million d'euros de dommages). Dauphiné [2001] propose une échelle synthétique basée sur trois échelles préalables de dommages en fonction du nombre de victimes (de 100 à 9999, facteur le plus discriminant), des pertes financières et des pertes de biomasse. La base de données du Centre de Recherche sur l'Epidémiologie des Désastres [CRED 2010] définit un événement comme catastrophique lorsqu'il a causé au moins 10 morts, affecté 100 personnes ou nécessité l'appel à l'aide internationale. Ces catégorisations présentent certains inconvénients. Elles n'intègrent pas les conséquences sociopolitiques des événements, difficilement mesurables et qui ne se manifestent parfois que tardivement [Dauphiné 2001], pas plus que les dommages irréparables à l'environnement, au patrimoine, etc. Par ailleurs, elles ne se rapportent pas aux enjeux/ressources disponibles sur le territoire endommagé (biomasse, terres, etc.). Dans une communauté qui dispose de très peu de ressources ou en milieu micro insulaire par exemple, se pose le problème du ratio d'endommagement, un accident au sens des bases de données pouvant revêtir un caractère catastrophique dans ce type de contexte.

#### ❖ *Les paradigmes expliquant les causes des catastrophes*

Les causes des catastrophes ont été appréhendées selon plusieurs approches qui ont évolué au cours du temps. Le plus ancien et plus répandu est appelé paradigme dominant ou de « l'extrême ». Il repose sur une approche aléa-centrée qui fait de l'aléa la cause première de la catastrophe. Selon cette vision, la vulnérabilité des populations s'explique par une mauvaise perception des menaces, qui sont considérées comme extérieures aux sociétés [Gilbert 2011]. Les individus ayant la perception la plus élevée du risque seraient les mieux préparés pour y faire face [Kates 1971 ; White 1974 ; Burton *et al.* 1978]. La perception du risque est, dans cette optique, essentielle pour les scientifiques qui tentent de comprendre le comportement des populations face aux aléas volcaniques. Cette approche reste encore fortement ancrée dans les politiques de gestion des risques [Vinet 2007].

Elle est toutefois contestée par un autre paradigme, qualifié de « radical » [Gaillard 2007], selon lequel les catastrophes ne font que prolonger les situations d'urgence quotidienne préexistantes pour les victimes [O'Keefe *et al.* 1976 ; Hewitt 1983 ; Maskrey 1989 ; Wisner 1993 ; Dibben et Chester 1999 ; Wisner *et al.* 2003 ; Gaillard 2007 ; Gaillard *et al.* 2010a]. La catastrophe résulte de contraintes structurelles sous-jacentes (sociales, économiques, politiques, historiques, culturelles et environnementales), qu'elle tend à révéler et accentuer. Le degré de développement est donc l'une des causes profondes des catastrophes. Il explique leur fréquence, leur ampleur et leur répartition territoriale [Dauphiné 2001]. Pour ce paradigme, les réponses des individus face à la menace volcanique sont induites par leur état de vulnérabilité. La réduction du risque et l'amélioration des réponses passent donc par la réduction des vulnérabilités et l'augmentation des capacités locales par le biais de projets de développement.

Tenant pour acquis que le risque ne peut être éliminé, un troisième paradigme, dit du « *disaster preparedness* », est apparu dans les années 2000 [Robert 2012]. Il souligne l'importance fondamentale de la préparation à la gestion de crise dans la gestion des risques. Cette préparation repose sur l'adoption d'outils opérationnels tels que les systèmes d'alerte précoce, la planification des urgences, ou les exercices de simulation [Revet 2009b, 2011]. Le concept de résilience s'impose alors, insistant sur les capacités des sociétés à faire face aux catastrophes. L'utilisation et la pertinence opérationnelle de cette notion de résilience font alors l'objet de nombreux débats [Reghezza-Zitt *et al.* 2012]. Dans les programmes de gestion du risque, les activités de prévention s'effacent progressivement à la faveur de celles concernant la

préparation aux crises [NRC 2006].

Ces trois paradigmes ne sont pas contradictoires pour autant : tout l'enjeu de réduction du risque de catastrophe réside dans le fait de doter la société de moyens d'y faire face (le renforcement des capacités ayant valeur de réduction des vulnérabilités et inversement). L'ensemble du cycle de gestion des risques précédemment décrit y participe, de même qu'une gestion de crise efficace. Cette thèse s'inscrit dans cette vision synoptique des risques, même si son entrée est clairement axée sur la gestion de crise.



### 1.2.2. Approches scientifiques de la gestion des crises

Le concept de crise vient du grec *krinein*, qui signifie discerner : il implique de faire un choix. Morin [1976] montre que le terme, en se généralisant à tous les domaines au XX$^{ème}$ siècle, a perdu son sens initial. A l'origine, *krisis,* la décision, on l'utilise aujourd'hui au sens de *krasis*, la confusion, l'indécision. « *C'est le moment où, en même temps qu'une perturbation, surgissent les incertitudes* ».

Au sens opérationnel, « *on définit la crise comme un processus qui, sous l'effet d'un événement déclencheur, met en éveil une série de dysfonctionnements* » Roux-Dufort in Portal [2009]. Plus précisément, « *La crise est une situation d'urgence où les capacités sont débordées (difficultés qui s'amoncellent et se croisent, logistique impuissante, protections illusoires, aléatoire et inconnu, exigences tactiques contradictoires qui se multiplient). Il y a ainsi une menace de désintégration du système (désengagement des structures, rouages distendus, perte des capacités d'autocorrection, antagonismes, fuite dans l'imaginaire), ainsi qu'une menace de désintégration de l'univers de référence (blocages, irréversibilité des inflexions, représentations figées instantanément et définitivement, réouverture de tous les dossiers difficiles, passés et connexes, options et valeurs fondamentales dénoncées) : la crise finit par prendre son autonomie* ». Gilbert rappelle toutefois qu'il peut y avoir des crises sans accidents [Gilbert 2000].

La gestion de crise correspond à la gestion de cette situation d'urgence. Elle s'appuie généralement sur un dispositif planifié en amont des crises, dans le cadre de la réflexion globale sur la réduction du risque. Aussi parfaite soit-elle, une gestion de crise n'est pas forcément en mesure d'empêcher la survenue d'une catastrophe, notamment lorsque l'aléa en jeu est d'une intensité exceptionnelle. Son but est généralement une mise en sécurité prioritaire des populations. *A contrario*, une mauvaise gestion de crise peut être facteur d'aggravation des impacts lorsqu'un événement se produit.

Quoi qu'il en soit, la crise est, au même titre que la catastrophe, révélatrice de vulnérabilités préexistantes [Metzger 2009]. Lagadec définit ainsi les crises comme un « *phénomène de résonance entre l'événement et son contexte* » [Lagadec 1991]. La nature et l'intensité de la crise, qui s'alimente de toutes les faiblesses existantes, résultent ainsi de la convergence de différents facteurs de vulnérabilité et de leurs combinaisons. En ce sens, la crise se trouve à la confluence des contraintes externes provoquées par des événements et des contraintes internes générées par les collectivités concernées [Gilbert 2005]. Il est donc possible d'identifier, hors contexte de crise, les processus sociaux susceptibles de générer ou d'aggraver une situation de crise [Gilbert 2002]. Gilbert [2002] souligne ainsi que risques et crises sont mal délimités et se rejoignent dans la vulnérabilité. Ainsi, la littérature sur les crises, peu abondante en apparence, se nourrit en réalité des très nombreuses études réalisées sur les risques et catastrophes.

#### ❖ *Approche rétrospective des crises*

La majorité des recherches sur les crises sont des retours d'expérience de catastrophes, mettant l'accent leur nature, leurs causes et leurs conséquences. Elles dressent des constats d'endommagement ou

s'intéressent à un ou plusieurs facteurs ayant conduit à la situation critique observée. Ces RETEX mettent en évidence des facteurs récurrents dans la construction des situations de crise [Lagadec et Guilhou 2002] : (1) mauvaises représentations du risque comme lors du tsunami à Banda Aceh en décembre 2004 [Morin *et al.* 2008] ; (2) effets domino dans les cas de Katrina [Neuilly 2008] et Fukushima [IRSN 2012] ; (3) défaillances de communication lors de l'éruption du Kelut [De Bélizal *et al.* 2012] et de l'accident de Fukushima [Perko 2011] ; (4) défaillances en matière de gestion lors des tempêtes Xynthia [Chauveau *et al.* 2011] et Katrina [Kelman 2008]. En plus d'être chacun intrinsèquement crisogènes, généralement ces facteurs se combinent.

Lagadec, en préface de l'ouvrage de [Portal 2009], met en avant l'importance du facteur humain dans la gestion des crises : « *Dans ces tempêtes, « l'humain » n'est pas un facteur supplémentaire de complication à annihiler grâce à davantage de normes, d'outils. L'humain est présent de part en part dans cette terre inconnue qu'est la crise, où l'angle mort est l'essentiel et le mesurable l'accessoire* ».

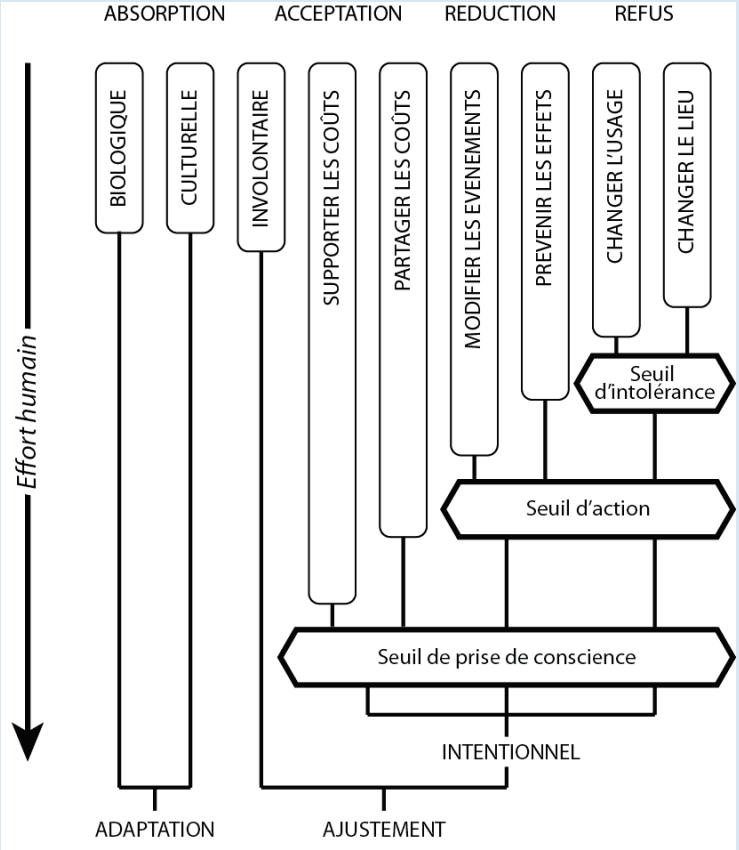
La question des agissements humains en situation de crise a alimenté les travaux de géographes s'intéressant aux comportements de foule [Provitolo 2005 ; Ruin 2007 ; Beck *et al.* 2010 ], aux pratiques et décisions des acteurs impliqués [Metzger *et al.* 1999 ; Sarant *et al.* 2003 ; November *et al.* 2007 ; Créton-Cazanave *et al.* 2009], ou encore aux facteurs cognitifs expliquant ces comportements [Burton *et al.* 1978 ; D'Ercole 1991] (voir encadré sur la théorie de l'adaptation des comportements au danger selon Burton *et al.* [1978]).

- ***Approche prospective par scénario***

A la différence des analyses coûts-bénéfices, où l'exercice consiste notamment à estimer les dommages potentiels à partir de scénarii d'aléa [Coburn *et al.* 1994 ; Sahal 2011], une nouvelle approche consiste à mettre en place des scenarii de gestion de crise comme au Maroc face à l'aléa tsunami [Leone *et al.* 2012] ou en milieu urbain face aux séismes [Jones *et al.* 2008 ; Tantala *et al.* 2008]). Les questions de mobilité et d'accessibilité y sont centrales, pour anticiper les dysfonctionnements des réseaux de transport, des paralysies urbaines, voire l'isolement total de territoires [Demoraes 2004 ; Gleyze 2005 ; Voiron-Canicio et Olivier 2005 ; Appert et Chapelon 2008 ; NCHRP 2009 ; Leone *et al.* 2011 ; Robert 2012]. Des outils géomatiques de plus en plus performants sont par ailleurs mobilisés pour la gestion des crises, tels que les logiciels de simulation d'accès aux ressources de gestion de crise [Griot 2007 ; Gournay et Audoin 2010], et des logiciels de simulation d'évacuation, basés sur des modèles multi-agents [Sahal 2011] ou la théorie des graphes [Lavigne *et al.* 2012]. Les gestionnaires disposent quant à eux de logiciels permettant un échange instantané de données géolocalisées pour aider en direct à la gestion de crise (SYNERGI en France), ou d'entrainement pour se préparer aux situations de crise (comme la plateforme Janus pour les militaires français).

**Théorie de l'adaptation des comportements face au danger de Burton et al. [1978]**

De nombreuses théories ont cherché à expliquer les comportements humains face au risque et en temps de crise. La plus connue, celle des géographes américains Burton *et al.* [1978], envisage les réactions comme des formes d'adaptation contrastées, dictées par un niveau socio-culturel et économique qui permet ou inhibe l'adaptation aux effets des désastres. Ils définissent trois seuils (de prise de conscience, d'action, et d'intolérance) qui séparent quatre modes de comportement face aux crises et aux catastrophes :




(1) l'absorption passive de l'endommagement répété, qui peut provenir d'une absence de conscience du risque chez l'individu, et/ou de l'absence de préparation à la crise chez la communauté. Elle peut par exemple se traduire par la fuite des individus ;

(2) l'acceptation de l'endommagement, qui intervient quand le seuil de prise de conscience est acquis. Elle conduit à un partage des pertes et des coûts des dommages (mise en place d'un système d'assurance, solidarité lors des opérations de secours, etc.) ;

(3) la réduction de l'endommagement par une atténuation individuelle ou collective avant, pendant et après la catastrophe (par exemple avec la mise en place d'outils de planification) ;

(4) la modification radicale du comportement, qui se traduit par une intervention *a priori* sur les conséquences du désastre (identification de zones non constructibles à travers l'aménagement du territoire, délocalisations, etc.).

Schoeneich et Busset-Henchoz [1998] soulignent que cette théorie a le défaut de ne pas proposer de véritable théorie explicative des comportements, souvent considérés comme inconscients ou paradoxaux. Selon eux, la théorie de la dissonance cognitive fournit donc le facteur explicatif manquant. La dissonance cognitive (Festinger 1962 *in* Schoeneich et Busset-Henchoz [1998]) existe lorsque le comportement ou la situation vécue par un individu sont en conflit avec ses connaissances ou ses convictions. C'est typiquement le cas lorsqu'un individu habite une zone à risque tout en étant conscient qu'elle est à risque. « *La dissonance cognitive provoque un inconfort psychologique, que l'individu cherche normalement à réduire. Ces attitudes de réduction de la dissonance cognitive constituent donc une forme d'adaptation psychologique à la situation de risque et ne résultent pas d'une inconscience de la situation* » [Schoeneich et Busset-Henchoz 1998], autrement dit, elles constituent une façon d'accepter de vivre avec le risque, et dans certaines circonstances de subir les effets des crises.

### 1.2.3. Organisation de la gestion des crises

Afin de pouvoir répondre efficacement aux crises, les autorités sont organisées en échelons qui correspondent aux découpages territoriaux.

En France, les maires sont responsables de la sécurité des personnes se trouvant sur leur territoire communal lorsqu'un événement se produit. Ils assurent la direction des opérations de secours dans leur commune, s'appuyant au besoin sur la mise en place d'un Poste de Commandement Communal, et sur leur Plan Communal de Sauvegarde s'il a été créé. Si l'événement touche plusieurs communes à la fois, la prérogative de la direction des opérations de secours est transférée au préfet de département, qui peut activer le Centre Opérationnel Départemental (COD) et déclencher un plan ORSEC, organisant les secours. Au besoin, le COD peut s'appuyer sur des Postes de Commandement Opérationnel (PCO) et Postes Médicaux Avancés (PMA). Les différents services assurant la sécurité des personnes et des biens disposent par ailleurs de leur propre centre opérationnel, d'où l'information remonte jusqu'au COD (par exemple le Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours des pompiers - CODIS -, et le Centre Opérationnel de la Gendarmerie - COG -). La Réunion, étant à la fois un département et une région, le préfet exerce son rôle aux échelles départementale et zonale. Dans tous les cas, c'est le COD qui est activé en cas de crise (Figure 1).

Aux Comores, l'organisation de la gestion de crise est très récente et repose sur un plan national unique, le Plan National de Préparation et de Réponse à l'Urgence (PNPRU).

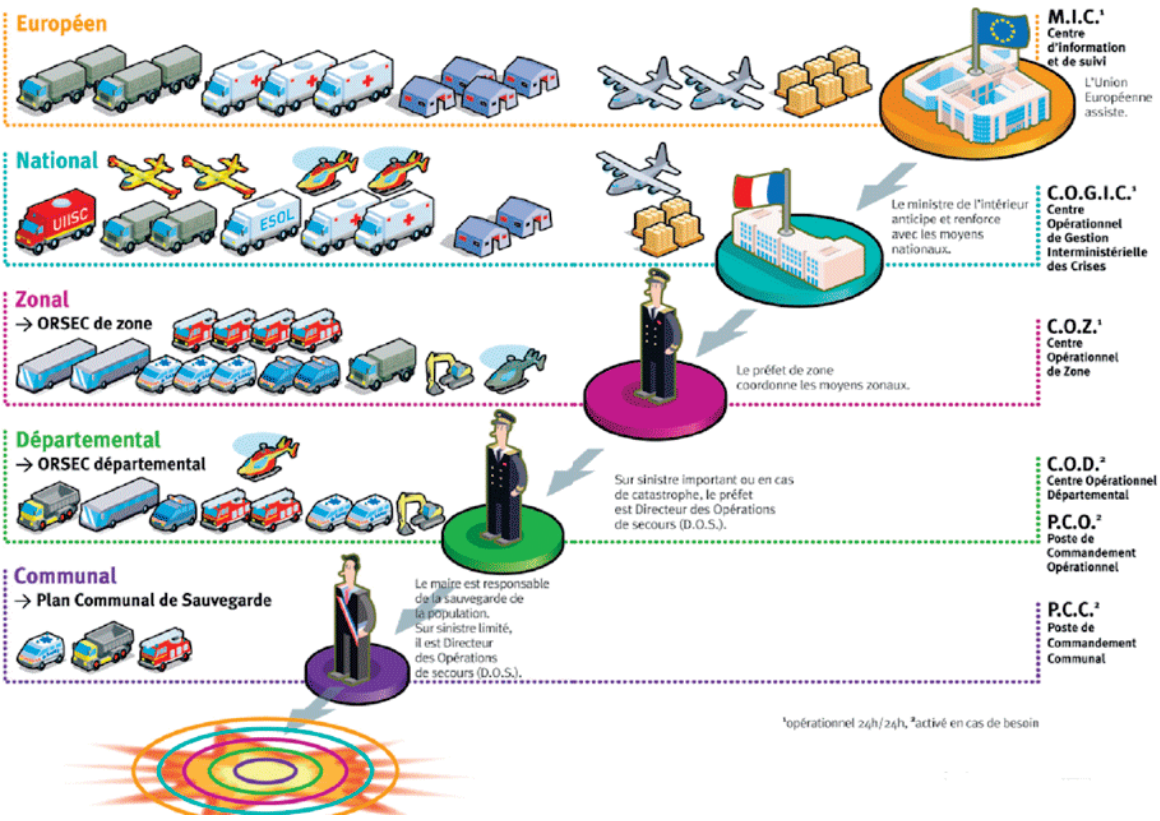



*Figure 1 - Organisation des organes et plans de gestion de crise en France (source : Institut des Risques Majeurs, http://www.mementodumaire.net)*

Nous ne rentrons volontairement pas plus dans le détail des moyens dont disposent les autorités pour gérer les crises, une présentation contextuelle étant opérée directement dans les Chapitre IV et V I lorsque nous abordons les études de cas sur la gestion des crises volcaniques.

# 2. LA GESTION DES RISQUES ET DES CRISES VOLCANIQUES DANS LE MONDE

*« Au matin du départ il mit sa planète bien en ordre. Il ramona soigneusement ses volcans en activité. Il possédait deux volcans en activité. Et c'était bien commode pour faire chauffer le petit déjeuner du matin. Il possédait aussi un volcan éteint. Mais, comme il disait, "On ne sait jamais !" Il ramona donc également le volcan éteint. S'ils sont bien ramonés, les volcans brûlent doucement et régulièrement, sans éruptions. Les éruptions volcaniques sont comme des feux de cheminée. Évidemment sur notre terre nous sommes beaucoup trop petits pour ramoner nos volcans. C'est pourquoi ils nous causent des tas d'ennuis.»*

Le Petit Prince ; Antoine de Saint-Exupéry, 1943

## 2.1. LE RISQUE VOLCANIQUE

### 2.1.1. Le risque volcanique dans sa composante physique

Sur les environ 1500 volcans considérés comme potentiellement « actifs »[8] dans le monde (Global Volcanism Program de Smithsnonian, *http://www.volcano.si.edu/*), en moyenne une soixante entrent en éruption chaque année.

La distribution spatio-temporelle de ce volcanisme actif est essentiellement liée à la tectonique. La grande majorité des édifices volcaniques se situe en limites de plaques : dans les zones de subduction (arcs de subduction et cordillères) caractérisées par une activité à dominante explosive, et dans les zones d'accrétion, au niveau des dorsales médio-océaniques et des bassins d'extension d'arrière-arc. Certains volcans actifs se situent également en domaine intraplaque : à l'aplomb des points chauds et au niveau des rifts dans les fossés d'effondrement intracontinentaux. Ils sont alors associés à un dynamisme éruptif essentiellement effusif et désignés dans les ouvrages de vulgarisation sous le terme de *volcans rouges*, par opposition aux volcans plus explosifs des zones de subduction, dits *gris*.

Les dynamismes éruptifs varient « *en fonction de la viscosité du magma, de la nature et de la proportion des volatils magmatiques, du taux de remontée du magma, de la nature du processus de vésiculation du magma et des processus d'interaction entre le magma et les roches encaissantes*[9] *qui l'entourent* » [Komorowski *et al.* 2005]. Un édifice volcanique est caractérisé par un mode éruptif dominant. Au cours de son histoire géologique - voire au cours d'une même éruption - des changements de dynamisme peuvent toutefois se produire du fait de l'évolution de ces divers paramètres. Des volcans effusifs tels que le Piton de la Fournaise peuvent ainsi être caractérisés par des phases d'activité explosive.

Le rapport entre la fragmentation et la dispersion des produits éruptifs permet de classifier plus précisément les dynamismes éruptifs - des plus faibles aux plus fortes fragmentations et dispersions - : hawaiien, strombolien, surtseyen, vulcanien, subplinien, plinien et ultraplinien[10] (diagramme de Walker [1973]). Cette classification ne tient pas compte des éruptions péléennes (coulées pyroclastiques dues à la destruction d'un dôme), gazeuses, ni de boue. Chaque dynamisme implique des aléas volcaniques propres et engendre des morphologies caractéristiques. Le dynamisme hawaïen, qui correspond à l'émission continue de lave sous forme de fontaines [Bachèlery et Villeneuve à paraître], est fréquemment représenté au cours de l'édification des grands volcans boucliers. Le dynamisme strombolien, caractérisé par des explosions

[8] Un volcan est caractérisé par une émission de magma à la surface de la Terre. Est considéré comme « actif » un volcan qui a montré des signes d'activité au cours des derniers 10 000 ans (holocène).

[9] De même qu'entre le magma et les masses d'eau liquide ou solide qui l'entourent.

[10] Ils sont ici classés selon un indice de dispersion croissant ; les dynamismes vulcanien et surtseyen présentent des taux de fragmentation élevés pour des taux de dispersion moyens.

périodiques peu violentes [Bachèlery et Villeneuve à paraître], associe le plus souvent les coulées de lave à l'éjection de tephra, pour former des cônes de « cendres ». Tous les autres dynamismes impliquent l'éjection dominante de tephra sous forme de colonnes de volume et de hauteur croissante, pouvant être associée ou non à la croissance de dômes. Elles contribuent largement à l'édification des stratovolcans.

A chaque type d'éruption correspondent des aléas susceptibles d'intervenir avant, pendant, ou après la crise éruptive. Ils sont caractérisés par leur extension maximale crédible, leur intensité potentielle, et leur probabilité d'occurrence. L'International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth Interior (IAVCEI) définit sept aléas volcaniques majeurs. Ils peuvent être directs : coulées et intrusions de laves, coulées pyroclastiques, retombées aériennes et émanations gazeuses ; ou indirects : lahars, mouvements de terrain (avalanches de débris), et tsunami. Tous induisent des dommages et modes de gestion spécifiques.

Les coulées de lave sont associées au plus faible niveau de risque engendré par une éruption volcanique du fait de leur mise en place relativement lente[11] et leur extension relativement limitée[12]. Elles peuvent toutefois causer des dommages à long terme en rendant les terres inexploitables pour plusieurs générations. Elles sont exceptionnellement responsables de pertes humaines (vidange du Nyiragongo en 1977 : 600 morts) et détruisent le plus souvent des biens (Hawaii 1980 : destruction du village de Kalapana ; Islande 1973 : destruction de la ville de Heimaey ; Karthala 1977 : destruction du village de Singani). Elles induisent parfois des aléas secondaires : effondrement de tunnels de lave et de plateformes littorales.

Les coulées (ou écoulements) pyroclastiques, mélanges de gaz et de pyroclastes à haute température, sont au contraire responsables d'un grand nombre de victimes. Engendrées par une activité explosive et l'effondrement de grandes colonnes éruptives sous leur propre poids ou l'effondrement d'un dôme, elles s'écoulent en suivant plus ou moins la topographie (selon la densité de l'écoulement et sa dynamique, elles peuvent déborder latéralement, et parfois remonter les pentes). Les victimes sont soumises aux ondes de choc, impacts de bombes, asphyxie ou à la chaleur intense [Baxter 1990 ; Baxter *et al.* 1998]. L'éruption de la Montagne Pelée en 1902 en est l'un des exemples les plus significatifs avec ceux de l'Unzen (1991) et de Montserrat (depuis 1995).

Les retombées de produits pyroclastiques (cendres à bombes) causent des dommages divers. Les bombes peuvent détruire les biens ou tuer par impact jusqu'à quelques kilomètres autour du cratère. Les particules plus fines, dispersées par les vents, peuvent affecter de grandes étendues (350 000 km$^2$ lors de l'éruption de 1991 au Pinatubo, in Leone *et al.* [2010]), raison pour laquelle les retombées de cendres constituent l'aléa qui affecte le plus grand nombre d'individus. La présence de particules dans l'atmosphère peut poser des problèmes pour la sécurité aérienne en causant des dommages substantiels aux avions [Miller et Casadevall 2000]. La modification du bilan radiatif (refroidissement de la température terrestre) est une autre conséquence possible en cas d'éruption majeure.

Au moment de leur retombée, ces particules peuvent plonger des régions dans l'obscurité et provoquer l'effondrement des infrastructures en raison du poids qu'elles représentent lorsqu'elles s'accumulent sur les toits. Sur le plan sanitaire, la nocivité des cendres s'exerce directement à travers des difficultés respiratoires et des irritations de la peau, des yeux et des muqueuses. Selon Horwell *et al.* [2003], les

[11] De l'ordre de 5 à 10 km/h pour les coulées fluides, au front de coulée. Des vitesses maximales de 30-60 km/h ont été observées à Hawaii en 1984 au Mauna Loa [Komorowski *et al.* 2005].

[12] Le record pour la période historique est une coulée de 10-15 km$^3$ sur 90 km engendrée par l'éruption du Laki en 1783-84 [Komorowski et al. 2005].

retombées de cendres dans de vastes zones après des éruptions majeures pourraient, dans certains cas, également avoir des impacts à long terme sur la santé, aujourd'hui mal connus.

Les émissions de gaz dans l'atmosphère (vapeur d'eau, hydrogène, sulfure et chlorure d'hydrogène, dioxyde et monoxyde de carbone, dioxyde de soufre, acides sulfurique et fluorhydrique, et gaz rares tels que le radon et l'hélium) peuvent également poser des problèmes de santé, de contamination des eaux de surface et souterraines, de corrosion des structures et de sécurité aérienne lorsqu'elles forment des panaches concentrés (ou plus dilués sur de longues périodes). Mais la menace majeure provient des épanchements de CO et de $CO_2$ sur les flancs des volcans, souvent en lien avec des éruptions limniques (dégazage brutal d'un lac méromictique), à des concentrations telles qu'ils constituent un risque létal pour les populations et leur bétail (1746 personnes et 3000 têtes de bétail au lac Nyos en 1986 [Halbwachs *et al.* 2004] ; 149 morts à Dieng en Indonésie en 1979 [Allard *et al.* 1989]. Cet aléa a la particularité de survenir aussi bien durant les périodes d'activité que durant les périodes de repos.

Les lahars sont des coulées de débris ou de boue, conséquence du remaniement par les eaux des formations volcaniques (souvent des dépôts pyroclastiques) sur les pentes des édifices volcaniques (eaux de pluie, de lac, de fonte de glacier ou de neige). Ils peuvent s'étendre sur de longues distances (plusieurs kilomètres) en débordant des vallées, ensevelissant tout sur leur passage. L'exemple le plus significatif reste celui du Nevado del Ruiz en 1985 qui a entraîné la mort de plus de 23 000 personnes. Leur occurrence survient pendant les éruptions (lahars syn-éruptifs), après celles-ci jusqu'à plusieurs années après le dépôt des pyroclastes mobilisables[13] (post-éruptifs), ou en dehors de toute éruption si des matériaux sont rendus mobilisables par exemple par un mouvement de terrain (non-éruptifs ; Lavigne *et al.* [2000a]). La gestion de ce type d'aléa, qui doit intégrer des mesures à court comme à très long terme, apparaît ainsi plus problématique que celle d'aléas plus localisés dans le temps comme dans l'espace (coulées de lave par exemple).

Les mouvements de terrain sont des phénomènes gravitaires d'ampleur très variable dont l'initiation peut avoir des causes diverses (déformations du sol liées à l'ascension du magma, instabilités des formations liées à la lithologie, séismes, effets de l'eau…). Les avalanches de débris constituent le stade ultime de ces mouvements gravitaires. Parfois accompagnées d'un blast qui accentue les destructions alentour par effet de souffle, elles résultent de l'effondrement d'une partie instable du volcan sous l'effet d'une injection magmatique ou de la rupture de zones hydrothermalisées et/ou fracturées. L'exemple le plus célèbre et documenté est celui du Mt Saint Helens en 1980 (avalanche qui s'est propagée sur 600 $km^2$ à 300 km/h environ [Christiansen et Peterson 1981]). Leone *et al.* [2010] précisent que les mouvements de terrain « *peuvent pénaliser très tôt la gestion d'une évacuation par l'obstruction possible de voies d'accès* ».

Enfin, l'activité volcanique peut engendrer des tsunamis sur des côtes parfois éloignées (entrée en mer de coulées pyroclastiques, avalanche de débris, forte activité explosive, sismicité associée, et surtout formation d'une caldeira ou d'un glissement en mer). L'événement le plus connu est celui du Krakatoa en 1883, qui a fait 36 000 morts sur les côtes de Sumatra et Java.

A ces aléas majeurs s'ajoute une gamme d'aléas secondaires aux conséquences variables. Localement, les séismes volcaniques peuvent atteindre des intensités importantes (jusqu'à VIII sur l'échelle modifiée de Mercalli, Leone *et al.* [2010]) et endommager les infrastructures près de l'épicentre ou dans les zones plus éloignées subissant des effets de site. A petite échelle, les pluies acides peuvent entraîner pollution des

[13] Des lahars se produisent ainsi toujours au Pinatubo près de 20 ans après l'éruption de 1991.

sols et endommagement des biens par corrosion. Des famines et épidémies peuvent également affecter les populations[14]. Enfin, les éruptions représentent un facteur de tension nerveuse pour les populations riveraines [Leone *et al.* 2010], avec des conséquences potentiellement négatives en terme de gestion.

Le risque volcanique - dans sa composante physique - dépend ainsi de la nature des aléas en jeu, de leur intensité, aire d'impact, récurrence et durée. Cette diversité dans les aléas ne rend pas toujours aisée la comparaison des éruptions. On utilise à cet effet l'indice d'explosivité volcanique (VEI de Newhall et Self [1982]) qui permet de caractériser leur magnitude (par la caractérisation de leur « explosivité »). Le volume des matériaux émis et la hauteur de la colonne éruptive permettent de distinguer neuf degrés sur une échelle ouverte (de 0 à 8 des éruptions les moins violentes aux éruptions les plus violentes). Le niveau 0 est réservé aux petites éruptions effusives pour lesquelles l'échelle s'applique mal [Leone *et al.* 2010]. Statistiquement, la fréquence des éruptions décroit avec l'augmentation de leur magnitude. Alors que les éruptions majeures à l'échelle humaine ont une fréquence de 10 à 100 ans, les éruptions cataclysmiques ont un retour de 100 à 10 000 ans [Schneider 2009]. Le temps de retour des événements majeurs étant faible, ils sont rarement observés, donc complexes à appréhender et à prendre en compte dans la gestion des risques. Leurs impacts se font par ailleurs sentir sur de vastes aires.

### 2.1.2. Les enjeux associés au risque volcanique

Les deux types d'aléas qui ont engendré le plus de dégâts pour chaque catégorie d'impacts (nombre de personnes décédées, affectées, dommages économiques) sont indiqués en rouge dans le Tableau 1, ceux qui en généré le moins en vert. On constate qu'au regard des autres menaces *naturelles* (notamment d'origine hydro-climatique), la menace volcanique est peu fréquente, et cause des dégâts limités. Les volcans restent toutefois potentiellement générateurs de catastrophes majeures. 455 millions de personnes vivent en effet à moins de 100 km d'un volcan actif [Chester *et al.* 2001], dont 219 sur un volcan à activité historique connue [Leone *et al.* 2010] comme le Merapi, le Vésuve ou encore le Misti. Au total, 9% de la population mondiale vit exposée aux aléas volcaniques [Small et Naumann 2001].

Plus de 90 % des 564 614 morts [Blong 1996] imputables au volcanisme durant la période historique sont liés aux famines post éruptives et épidémies (30,3%), écoulements pyroclastiques (26,8%), lahars (17,1%) et tsunamis engendrés par une activité volcanique (16,9%), [Tanguy *et al.* 1998]. Les épidémies et famines post-éruptives ont constitué jusqu'au 20$^{ème}$ siècle les premières causes de décès, surtout du fait de l'éruption du Tambora en 1815 avec 49 000 morts de famine [Witham 2005]. Les efforts de coordination de l'aide internationale et des secours permettent désormais de réduire significativement ce type d'impacts post-éruptifs [Tanguy *et al.* 1998]. Les tsunamis ont également constitué une cause majeure de décès. Le tsunami de 1883 associé à l'éruption du Krakatoa y a largement contribué. Au 20$^{ème}$ siècle, les coulées pyroclastiques et lahars ont été responsables des plus grandes pertes humaines [Blong 1996], respectivement essentiellement du fait des éruptions de la Montagne Pelée en 1902 et du Nevado del Ruiz en 1985 [Tanguy *et al.* 1998 ; Witham 2005]. Au total, environ 5,6 millions de personnes ont été sinistrées[15] au cours du 20$^{ème}$ siècle par les éruptions volcaniques, et 53% des 491 événements répertoriés ont conduit à des morts [Witham 2005].

[14] Cf. paragraphes suivants sur le bilan des principales catastrophes d'origine volcanique.

[15] Décédées, blessées, sans-abri ou évacuées.

*Tableau 1 - Les événements catastrophiques liés à l'occurrence d'aléas naturels dans le monde de 1900 à 2010 classés par impacts (d'après EM-DAT, consulté le 14-07-2010)*

| | Aléas | Evénements | Morts | Sinistrés Blessés / sans-abris | Dommages en milliers de US$ |
|---|---|---|---|---|---|
| CLIMATIQUES / HYDRO-CLIMATIQUES | inondations | 3686 | 6 914 720 | 3 133 686 569 | 441 648 909 |
| | tempêtes/cyclones | 3305 | 1 376 528 | 859 003 735 | 768 951 602 |
| | sécheresse | 583 | 11 708 273 | 2 032 572 201 | 85 035 200 |
| | canicules/vagues de froid | 389 | 110 262 | 92 211 036 | 56 193 419 |
| | feux de forêt | 349 | 3477 | 5 896 976 | 47 100 055 |
| GEOLOGIQUES | séismes et tsunamis | 1151 | 2 536 538 | 168 367 432 | 479 762 974 |
| | mouvements de terrain | 604 | 61 091 | 11 282 225 | 7 376 520 |
| | éruptions volcaniques | 213 | 95 979 | 5 151 509 | 3 040 348 |
| BIOTIQUES | épidémies | 1227 | 9 560 237 | 42 900 213 | / |
| | invasions d'insectes | 84 | 0 | 502 200 | 230 125 |

La répartition géographique des catastrophes volcaniques est fortement influencée par la proximité de l'activité volcanique de zones densément peuplées [Witham 2005] au premier lieu desquels les Philippines, l'Indonésie et l'Amérique Latine. Malheureusement, l'exposition aux aléas volcaniques est croissante, en particulier dans les pays en développement [Chester et al. 2001]. L'aggravation de ces facteurs tend à être contrebalancée par des politiques de gestion de plus en plus développées (surveillance, évaluation des aléas, réduction des risques, communication, outils de gestion de crise), même si le risque volcanique continue *in fine* d'augmenter.

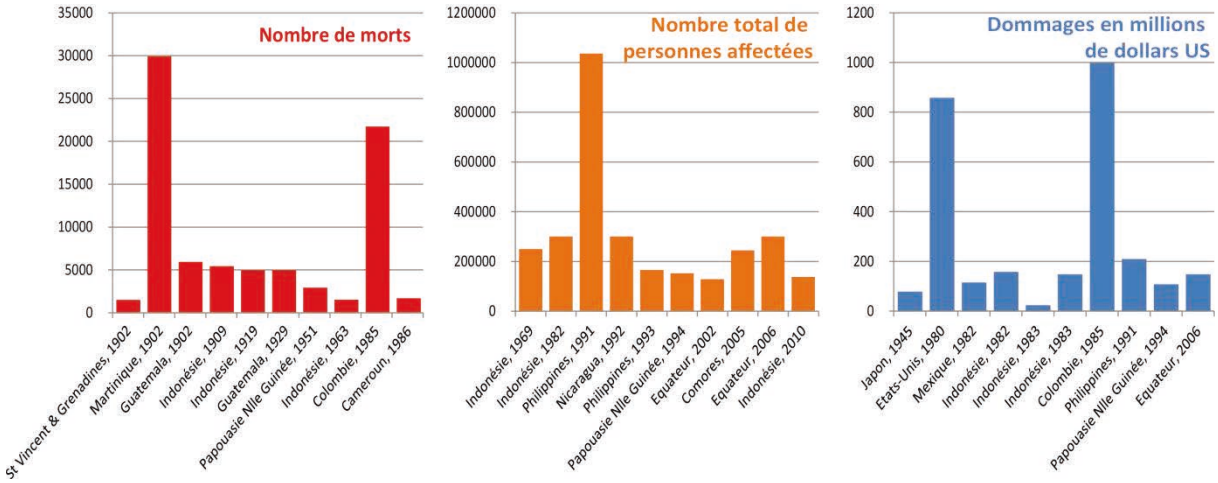



*Figure 2 - Les événements volcaniques catastrophiques dans le monde de 1900 à 2012 classés par impacts (d'après EM-DAT, consulté le 14-02-2012)*

L'observation de la Figure 2 reflète ces améliorations de la gestion des risques. En 1991 au Pinatubo (Philippines), les évacuations massives permettent une mortalité limitée, qui contraste fortement avec la mortalité excessive liée à l'éruption du Nevado del Ruiz en Colombie six ans plus tôt, au cours de laquelle les évacuations avaient été négligées. Un certain nombre de grandes crises ont ainsi contribué à une prise de conscience de la nécessité de mettre en place des politiques adéquates de gestion du risque et des crises volcaniques.

## 2.2. LA GESTION COMPLEXE DES RISQUES ET DES CRISES VOLCANIQUES

La gestion du risque volcanique répond au cycle classique présenté en première partie de thèse, mais revêt plusieurs spécificités qui la rendent complexe. La pluralité des aléas en jeu (donc des échelles temporelles et spatiales, et dommages potentiels induits) implique une multitude de réponses possibles pour faire face aux menaces volcaniques, dont certaines ne sont applicables qu'à un aléa.

Les puissances naturelles en jeu étant énormes, la mise en place de mesures de protection qui s'appliqueraient correctement à d'autres types d'aléas comme les inondations est de fait limitée. La protection des biens est parfois envisageable - bien que souvent illusoire -, et la mise à l'abri des populations consiste généralement simplement à fuir la menace.

Enfin, les prévisions dans le domaine de la volcanologie sont encore lacunaires et imprécises alors qu'elles constituent un maillon fondamental de la bonne gestion des risques volcaniques.

Il faut souligner que dans le langage volcanologique, les crises volcaniques peuvent ne désigner que les éruptions et leurs signes précurseurs. On peut ainsi parler de crise majeure y compris pour les volcans ne menaçant aucun enjeu.

### 2.2.1. Un arsenal de mesures préventives

#### ❖ *Des prévisions marquées par une forte marge d'incertitude*

La prévision des éruptions volcaniques repose sur la connaissance d'éléments fondamentaux :

- la périodicité des éruptions et leur probabilité d'occurrence pour un type d'éruption donné (annuelle à pluri-millénale) ;
- une fois l'éruption probable, le moment de son déclenchement et sa durée ;
- le type d'éruption attendu, son intensité et les changements de régime éruptif susceptibles de survenir en cours d'éruption (notamment le passage à des phases paroxysmales) ;
- l'étendue probable des dommages.

Ces éléments relèvent à la fois d'une compréhension fine de l'édifice, des processus éruptifs et des enjeux exposés (prévisions sur le long terme) et de la qualité de la surveillance volcanologique lorsqu'une éruption se prépare (prévisions sur le court terme).

L'étude de l'histoire des volcans est la clef de voûte de la prévision au long terme. La connaissance de leur passé éruptif (à travers des études stratigraphiques, historiographiques,…) permet de comprendre leur fonctionnement (en nature et intensité) et de déterminer des périodes de retour par type d'événement. Des scénarii et cartes des zones exposées peuvent alors être proposés.

Les modélisations désormais disponibles pour la prévision des éruptions sont capitales pour la prévention et la gestion des zones à risque [Schneider 2009], elles permettent d'affiner ces scenarii. Les arbres d'événement (*event trees*) constituent un autre outil fondamental de la prévision au long terme. En répertoriant graphiquement les différents scenarii envisagés, ils doivent permettre de mieux prévoir le réveil, visualiser d'emblée les différentes évolutions d'activité possibles, et au final de réagir de façon plus appropriée lorsque la crise se présente. Le logiciel BET-EF (Bayesian Event Tree for Eruption Forecasting) [Lindsay *et al.* 2009 ; Sandri *et al.* 2009 ; Marzocchi *et al.* 2010 ; Selva *et al.* 2010] permet désormais de les concevoir automatiquement en rentrant dans une base de données les paramètres disponibles sur le passé éruptif du volcan et la surveillance en cours. Il est ainsi censé résoudre l'épineux problème de la détermination du moment exact du réveil mais aucun exemple concret n'a encore permis de tester son

efficacité.

Ces scenarii ne seraient pas valables sans le développement de cartes de menaces de plus en plus précises, elles aussi devenues essentielles à la gestion. Elles portent sur les aléas, les enjeux, les zonages réglementaires, le risque, mais également les représentations du risque acquises par le biais d'enquêtes [Leone et Lesales 2009]. Ces cartes peuvent évoluer rapidement en cas de modification du comportement éruptif du volcan. A Montserrat, elles ont été revues à plusieurs reprises depuis 1995 en fonction des directions prises par les coulées pyroclastiques.

Si ces méthodes ne fournissent pas de réponses toutes faites pour faire face aux crises, elles permettent cependant de planifier précisément la gestion des crises ou de limiter les cas d'interprétation litigieuse quand une crise se présente.

#### ❖ *A court terme, la surveillance instrumentale*

La prévision des éruptions à court terme et le suivi de leur évolution une fois qu'elles sont en cours est tributaire de méthodes permettant la détection de signes précurseurs et le suivi de l'activité. La surveillance est assurée par des observatoires volcanologiques. En France, celle des volcans actifs d'Outre-Mer est à la charge de l'Institut de Physique du Globe de Paris (dont dépendent les observatoires volcanologiques de la Soufrière en Guadeloupe, de la Pelée en Martinique et de la Fournaise à La Réunion), tandis que l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont gère celle des volcans d'Auvergne, considérés comme actifs. Les services d'observation pérennes implantés sur les volcans français sont établis dans le cadre du Service National des Observations en Volcanologie (SNOV) mis en place par l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU - CNRS).

Le suivi de la sismicité permet de surveiller l'ascension du magma en étudiant la progression de la fracturation (matérialisée par les séismes volcano-tectoniques) et le mouvement des fluides (à travers les trémors et séismes longue période) qui accompagnent les crises éruptives. Elle est opérée grâce à des réseaux de stations sismiques réparties sur les flancs des volcans. Avant une éruption la mise sous pression de la chambre magmatique provoque le gonflement de l'édifice qui se traduit par des déformations. De nombreuses méthodes manuelles et/ou automatiques (nivellement, inclinométrie, extensométrie, géodésie spatiale, interférométrie radar, etc.) permettent de les mesurer. Les mesures sismiques et des déformations sont les méthodes les plus utilisées - et les plus fiables à l'heure actuelle - pour détecter la survenue d'une éruption à court terme. La surveillance géochimique peut également apporter des éléments décisifs pour déterminer le dynamisme éruptif en jeu (notamment en repérant si l'éruption sera ou non magmatique). Les mesures de concentration des gaz et des eaux se font sous forme d'échantillonnages manuels ou par l'intermédiaire d'une instrumentation permanente *in situ* ou de calculs de concentrations à distance (COSPEC - ou spectromètre de corrélation - pour mesurer à distance les flux de $SO_2$ dans les panaches par exemple). Enfin, tout un éventail de méthodes géophysiques (micro-gravimétrique, magnétique, électrique, thermique, décrites en détails par Lénat [2003]) sont également disponibles. Elles se suffisent toutefois pas à surveiller des édifices dans l'état actuel des connaissances mais complètent efficacement les méthodes précitées.

Malgré des méthodes de plus en plus éprouvées, la surveillance volcanologique reste limitée. Le premier obstacle est la difficulté à mettre en place des réseaux de surveillance du fait de leur coût élevé, de l'accès parfois difficile dans le cas de vastes édifices, ou simplement d'une lacune de connaissance concernant la menace qu'ils exercent. Le nombre de volcans surveillés dans le monde reste ainsi restreint : 160 sur les quelque 600 volcans actifs émergés [Robin et Lardy 2003]. L'attention se porte essentiellement sur les

volcans proches de grandes agglomérations (mégalopoles), ceux qui ont marqué les esprits par une crise importante, ou encore ceux plus isolés qui menacent la sécurité aérienne[16]. L'actualité récente a montré que des volcans considérés comme éteints - donc non surveillés - pouvaient se manifester brutalement. Le Chaiten a ainsi produit sa première éruption historique en 2008 au Chili, classée comme événement catastrophique avec 8000 personnes affectées [CRED 2010]. Le Sinabung est à son tour entré en éruption à Sumatra en 2010. Dans ce type de situation, des observatoires peuvent être improvisés en quelques semaines comme ce fut le cas au moment de l'éruption du Pinatubo en 1991. « - *connus où des appareils de surveillance ont été déployés en nombre suffisant, on a pu déceler le réveil du volcan au moins une semaine avant l'éruption* » [Kert 1999]. Il faut préciser que si les pays développés sont dotés de réseaux de surveillance performants, les pays en développement souffrent de grandes carences et restent souvent dépendants d'une coopération avec des pays développés (tant sur le plan matériel que celui des ressources humaines/savoir-faire). Le développement récent de la télédétection ouvre à ces égards des perspectives considérables puisqu'on peut désormais surveiller à distance un site non instrumenté sur le terrain [Lénat 2003].

Le second obstacle majeur réside dans l'incertitude scientifique, qui se répercute dans les prises de décision en matière de protection civile. La multiplicité de paramètres qui entrent en jeu dans la surveillance et l'absence d'une connaissance suffisamment parfaite (du site et des processus volcaniques) rendent la prévision complexe. A tel point que des divergences apparaissent parfois entre scientifiques sur l'interprétation des résultats, qu'ils soient obtenus à l'aide d'une méthode donnée ou de méthodes complémentaires. L'exemple le plus marquant à ce jour reste sans doute le désaccord qui a opposé H. Tazieff à C.-J. Allègre au moment du réveil de la Soufrière de Guadeloupe en 1976.

Quoi qu'il en soit, l'amélioration des prévisions ne se fera qu'au prix d'une évolution des réseaux de surveillance[17] et d'une connaissance plus précise des conditions magmatiques et éruptives (l'une alimentant l'autre).

### ❖ *L'alerte*

Lorsqu'un ou plusieurs paramètres faisant l'objet de la surveillance évoluent, les scientifiques transmettent l'information aux autorités[18], qui peuvent décider de l'activation des niveaux d'alerte destinés à mettre en éveil les populations aussi bien que les autorités à tous niveaux. Certains seuils (propres à chaque méthode de surveillance et spécifiques à chaque édifice) marquent la nécessité du passage à un degré d'alerte supérieur. Dans la plupart des cas, six niveaux d'alerte ou moins sont employés pour définir les différents états d'un volcan, du repos au réveil brutal [Newhall 2000]. Des terminologies (vigilance volcanique, alerte, éruption imminente, éruption en cours, etc.) et codes (de couleurs, numériques, ou alphabétiques) y sont associés.

---

[16] Un panache de cendres n'est détectable ni visuellement par les pilotes ni par les radars des avions qui ne les distinguent pas des autres nuages. Une surveillance spécifique destinée à assurer la sécurité aérienne en déroutant des avions ou en fermant des espaces aériens est donc indispensable. L'Organisation Civile Internationale de l'Aviation a chargé neuf VAAC (centres d'alerte aux cendres volcaniques, chacun responsable d'une portion de l'espace aérien mondial), de détecter les nuages de cendres et prévoir leurs trajectoires à l'aide de modèles de dispersion. Le centre Météo France de Toulouse assume cette fonction pour l'espace aérien recouvrant l'Europe (Royaume-Uni excepté), l'Afrique, le Moyen-Orient, jusqu'aux frontières orientales de l'Inde, la moitié occidentale du territoire russe. Les observatoires volcanologiques concernés par des éruptions sont en lien étroit avec les VAAC.

[17] [Robin et Lardy 2003] notent que cette évolution se fera autour d'une combinaison d'éléments : miniaturisation et extension des nouveaux capteurs, accroissement de la fiabilité, automatisation des réseaux de mesures sur le terrain et par le développement des observations satellitaires.

[18] Des systèmes d'alerte existaient toutefois avant l'existence des moyens de surveillance modernes : aux Champs Phlegréens par exemple, l'alerte était donnée par les marins lorsqu'ils entraient dans le port de Pouzzoles. Ils savaient que le sol s'était soulevé quand ils n'arrivaient plus à amarrer leur bateau, le quai était trop haut.

Le plus haut niveau d'alerte, correspondant à une éruption en cours, peut lui-même être subdivisé en fonction de la phénoménologie éruptive et des impacts redoutés (et donc des mesures de protection que cela appelle). Il ne signifie pas la même chose d'un édifice à l'autre : une alerte rouge au Piton de la Fournaise n'aura pas les mêmes implications qu'une alerte de même niveau à la Soufrière de la Guadeloupe car les conséquences attendues diffèrent fortement. Il est à noter que la mise en alerte, théoriquement graduelle, peut s'effectuer brutalement, directement au stade le plus haut, si les prévisions n'ont pas tenu leur rôle. Toute alerte s'accompagne théoriquement de la divulgation des consignes spécifiques à suivre pour se protéger le plus efficacement possible de la menace encourue. Généralement, les niveaux d'alerte les plus élevés sont synonymes d'évacuation des populations.

#### ❖ *Des mesures de protection multiples*

Sur le plan individuel comme collectif, un certain nombre de réponses peuvent être apportées pour se prémunir ou se protéger de la menace volcanique, que ce soit en traitant directement l'aléa ou en agissant sur ses effets. Ces mesures s'envisagent et s'appliquent différemment selon les aléas (Tableau 2), rappelant la complexité de l'essence multi-aléas du risque volcanique.

Par ailleurs, pour tous les types d'aléas sans exception, une bonne gestion repose sur une information préventive qui permette aux populations d'améliorer leur compréhension des phénomènes éruptifs, des impacts potentiels, et leur connaissance des mesures à suivre pour se protéger. Elle doit aussi favoriser une meilleure compréhension et acceptation des mesures imposées par les autorités, notamment lorsqu'il s'agit d'évacuer. Au final, l'information préventive est censée accroître la capacité de réponse des populations et réduire les impacts sociaux [Johnston et Ronan 2000]. Sa diffusion se fait de l'échelle locale (parfois dans des petits villages isolés) à l'échelle internationale (les mesures à suivre pour se protéger des cendres sont décrites dans des livrets traduits dans sept langues et largement diffusés dans le monde par l'International Volcanic Health Hazard Network: *http://www.ivhhn.org/pamphlets.html*).

*Tableau 2 - Les mesures de protection et d'alerte face aux aléas volcaniques*

| | |
|---|---|
| ***Aléa*** | Types de protection :<br>mesures destinées à réduire l'aléa<br>mesures structurelles destinées à réduire les impacts des aléas<br>mesures individuelles destinées à réduire les impacts des aléas<br>systèmes de surveillance / d'alerte spécifiques à un aléa donné |
| ***Coulées de lave*** | Edification de levées pour les stopper ou détourner [Lockwood et Romano 1985 ; Barberi *et al.* 1993 ; Barberi *et al.* 2003]. Exemple : Zafferana, sauvé des coulées de 1992 sur l'Etna grâce à l'édification de levées de 21 m qui ont stoppé la lave 4 semaines avant d'être débordées [Blong 2000]<br>Refroidissement du front par aspersion d'eau [Williams et Moore 1983] à Heimaey en 1973, semi succès qui a permis d'épargner le port et certaines habitations ; tentative ratée sur la rift-zone orientale du Kilauea en 1986-87<br>Utilisation d'explosifs pour détruire les levées créées par les coulées et qui les canalisent ou obstruer les tunnels [Barberi *et al.* 1993] : contribution au succès de Zafferana en 1992, échec à Hawaii en 1975<br>Maisons sur plateformes amovibles (Hawaii) |
| ***Lahars*** | Ouvrages Sabo Dam pour les canaliser, réduire leur énergie, arrêter les gros blocs et piéger les sédiments (Sakurajima, Usu, Unzen, Merapi, Galunggung, Saint Helens), bassins de rétention<br>Vidange de lacs de cratères via des galeries-déversoirs (Kelut, Spirit Lake [Blong 2000], Kawa Ijen)<br>Revégétalisation des pentes recouvertes de tephra<br>Ponts là où les voies de communication coupent des chenaux<br>Systèmes de détection (acoustique, vidéo, sensibles aux vibrations ou jauges situées en amont) couplés à des systèmes d'alerte dans les vallées [Lavigne *et al.* 2000b] |
| ***Coulées pyroclastiques*** | Bunkers de refuge quand l'évacuation n'a pas été possible (Merapi, Indonésie) |
| ***Retombées de blocs*** | Abris anti-blocs (près des habitations au Sakurajima [Blong 2000], pour les randonneurs au sommet du Stromboli)<br>Port du casque aux abords de l'évent éruptif |
| ***Retombées de tephra***[19] | Maisons résistantes aux retombées (toits fortement inclinés et disposition spécifique des tuiles pour empêcher l'accumulation de dépôts [Blong 2000])<br>Balayage des toits pour éviter les surcharges<br>Protection et assainissement des réserves d'eau<br>Protection des voies respiratoires et des yeux<br>réseau des VAAC (cf. note de bas de page n°16, p. 28) |
| ***Dégazage*** | Systèmes de tuyaux pour forcer le dégazage progressif des eaux profondes vers la surface dans les lacs présentant une menace d'éruption limnique (Monoun, Nyos [Halbwachs *et al.* 2004 ; Kling *et al.* 2005])<br>Protection spécifique des voies respiratoires aux abords de l'évent éruptif (masque à gaz)<br>Préservation des réserves d'eau des pluies acides<br>Systèmes de mesure des concentrations en gaz au Nyos et au Monoun dotés d'alarmes en cas de dépassement d'un seuil critique [Clarke 2001] |
| ***Tsunamis*** | Reconnaissance de précurseurs spécifiques (retrait de la mer, changements de niveau, de couleur et d'odeur de l'eau des puits [Morin *et al.* 2008]), capteurs de pression et systèmes d'alerte littoraux |
| ***Sismicité associée*** | Normes parasismiques |

[19] La réduction des conséquences des retombées de tephra compte parmi les objectifs prioritaires de la réduction des risques volcaniques [Blong 2000]. C'est l'aléa volcanique qui menace le plus grand nombre d'individus et de structures de par le monde.

Les nombreuses réponses envisageables n'assurent souvent qu'une protection partielle face aux menaces volcaniques pour plusieurs motifs :

- Elles peuvent être défaillantes. Au Mayon, des lahars sont parfois passés du mauvais côté des barrages censés les contenir. De nombreux ouvrages de ce type ont également été mis en échec autour du Pinatubo en 1994 [Blong 2000]. En 2006, au Merapi, des habitants du village de Turgo sont morts piégés dans les bunkers censés les protéger de coulées pyroclastiques [Gertisser *et al.* 2011].
- Elles ne sont pas multi-aléas alors qu'un volcan se contente rarement de produire un seul type d'aléa au cours d'une éruption.
- Elles sont dimensionnées pour des événements de taille modérée. Etant données les puissances en jeu, les solutions de protection sont dérisoires lorsqu'une éruption cataclysmale se déclenche.
- Elles sont envisagées uniquement lorsque la menace est connue, ce qui n'est pas toujours le cas. Par ailleurs, Blong [2000] souligne la faiblesse des retours d'expérience post-éruptifs qui devraient permettre d'analyser les performances des infrastructures et réseaux et développer des codes de construction comme dans le cas du risque sismique (notamment pour réduire l'impact des retombées de tephra).
- Même lorsqu'elles sont prescrites, le niveau de développement socio-économique des communautés ne permet pas toujours de les mettre en place ou de les appliquer correctement dans la mesure où elles sont coûteuses et parfois techniquement complexes à mettre en œuvre. Parfois leur mise en place avec les moyens locaux sous forme dégradée peut même conduire à une aggravation de la menace (digues mal construites menaçant de céder…).

### 2.2.2. Des mesures inadaptées aux réalités socio-économiques

#### ❖ *Choix et refus d'évacuation*

Le plus souvent l'évacuation des zones exposées reste le plus sûr moyen de mettre les populations en sécurité lorsqu'une crise éruptive se manifeste. Le recours aux évacuations et relocalisations de populations est devenu de plus en plus commun au 20ème siècle, notamment grâce aux progrès de la surveillance volcanologique et des pratiques de gestion du risque [Tobin et Whiteford 2002], à une conscience accrue des risques volcaniques, à la volonté dans beaucoup d'endroits d'entreprendre des procédures de protection civile coûteuses et continues, et en lien avec l'accroissement des populations dans les zones à risque [Chester *et al.* 2001]. Les Philippines, l'Equateur, l'Indonésie, et l'Italie sont les pays qui totalisent le plus grand nombre d'évacués [Witham 2005]. Ces procédures ont permis d'éviter la survenue de catastrophes majeures comme celles de la Montagne Pelée ou, plus récemment, du Nevado del Ruiz.

Les évacuations ne sont pas pour autant toujours positives. Elles ont en premier lieu un impact important sur le quotidien des évacués forcés à abandonner leurs biens et parfois leur cheptel et animaux domestiques (avec les possibilités de pillage et de pertes induites). En plus de constituer un processus souvent traumatisant psychologiquement, une évacuation rend souvent la population concernée excessivement vulnérable. La limitation de l'accès habituel aux ressources liée aux zones de restriction les place en situation de vulnérabilité socio-économique accrue (perte temporaire voire définitive des moyens de revenu, des réseaux sociaux, etc.). L'entassement des évacués dans des abris bondés fait peser une menace sanitaire, y compris avec les ressources actuelles de l'aide internationale. A cela, s'ajoutent le coût économique élevé supporté par la société et des enjeux politiques forts.

Pour ces raisons, une évacuation est rarement bien acceptée, que ce soit par les populations qui la subissent, ou les autorités qui doivent prendre la décision de la décréter et tenter de la faire respecter pour minimiser les dommages potentiels. Elle l'est d'autant moins qu'elle est durable et/ou qu'elle n'est pas suivie d'une crise éruptive. Robin et Lardy [2003] décrivent comment 20 000 habitants évacués des flancs du Tungurahua en 1999 ont commencé à regagner progressivement leurs villages au bout de trois mois contre l'avis des autorités. La décision d'évacuer était motivée par la forte probabilité d'une activité fortement explosive, qui ne s'est finalement produite qu'en 2006. Des crises bradysismiques aux Champs Phlégréens en 1983-84 ont conduit à deux reprises à l'évacuation des 40 000 habitants de la ville de Pozzuoli, avant que tout redevienne calme. Une évacuation « non justifiée » peut avoir des conséquences désastreuses, avec une perte de confiance (des populations envers les autorités et/ou les scientifiques, et des autorités envers les scientifiques), potentiellement synonyme de réticence ou refus d'évacuer ou de faire évacuer en cas de nouvelle crise. Justifiée ou non, « *il a* [de toute façon] *été maintes fois prouvé que les meilleures explications du monde ne pouvaient convaincre les populations du bien-fondé des décisions d'évacuation* » [Kert 1999].

Reste que, dans certains cas, l'incertitude scientifique est loin de constituer le principal obstacle aux choix formulés par les autorités. En 1902 à la Montagne Pelée, les politiques auraient décidé de ne pas faire évacuer pour maintenir la population en ville à l'approche des élections. Une politique des urnes payée au prix fort : 92 000 morts, deux survivants [Chrétien et Brousse 2002].

#### ❖ *La légitimité populaire à l'assaut de la gestion technocratique des risques*

Au-delà de l'exemple de la Pelée en 1902, l'exemple du Tungurahua précédemment cité est très symptomatique de l'absence d'adaptation des mesures imposées aux populations. Ces mesures ne prennent en compte que les besoins jugés primaires (un abri provisoire, de l'eau et de la nourriture). Elles négligent les questions essentielles de l'accès aux moyens de subsistance, de l'attachement au lieu, du maintien des activités habituelles, des réseaux sociaux et règles coutumières, de l'incapacité pour les individus à maintenir un état d'alerte permanent avec une perception adéquate du danger alors qu'aucune situation de danger immédiat ne se présente à eux, de la précarité des hébergements temporaires (absence d'intimité, risques sanitaires…), etc. Au Tungurahua, le retour dans les villages s'est notamment fait sous la pression des petits agriculteurs [Robin et Lardy 2003], comme dans beaucoup d'autres cas d'études, que la menace soit d'origine volcanique ou non. Privés de leurs moyens de subsistance, ils sont logiquement les plus prompts à refuser une évacuation de longue durée et tenter des retours en zone interdite. La nécessité d'un retour aux activités « normales », a, quelques mois plus tard, entraîné le retour des acteurs du tourisme (engendrant au passage une reprise problématique de la fréquentation touristique, la population de certains villages situés dans les zones les plus exposées triplant le week-end). Le retour des premiers habitants dans les zones menacées s'est fait au prix d'affrontements violents avec les forces de l'ordre ; la « *population, ne reconnaissant plus aucune autorité, municipale ou provinciale, s'est organisée elle-même, dans l'éventualité d'une recrudescence de la crise volcanique* ».

La gestion des risques volcaniques n'échappe pas au penchant de l'approche technocratique top-down. Les mesures ne sont pas toujours très bien reçues par les populations, concernées au premier chef mais rarement consultées dans les phases d'élaboration et de conception des plans ou projets. Aussi, se dotent-elles parfois de moyens de gestion autonomes en parallèle ou en remplacement de ceux adoptés par les autorités. Elles s'appuient pour cela sur leur représentation individuelle ou collective du risque et des logiques propres (relevant des croyances, de la hiérarchie communautaire, etc.).

Dans de nombreux pays, la volonté de réduction des aléas passe par la prière ou des offrandes faites aux esprits qui habitent les volcans. Le Bromo (Indonésie) est un lieu de pèlerinage hindou où des offrandes sont faites pour apaiser l'esprit du volcan[20]. La logique veut donc que la coutume attire les fidèles au lieu de les éloigner quand une crise est annoncée par les volcanologues [Grelou 1963].

La confiance des populations (pour la prévision et/ou les décisions à suivre) peut être accordée à une figure locale à qui sont attribués des compétences ou pouvoirs (politique, mystique…). Les habitants des pentes du Merapi l'accordent à Mbah Marijan, un vieil homme qui incarne le gardien des clefs du volcan (« *juru kunci* ») et est censé communiquer avec les esprits de la montagne. En 2006, tout en recommandant de respecter l'évacuation ordonnée par les autorités, il a lui-même refusé d'évacuer pour rester en contact spirituel avec le volcan et tenter de limiter les destructions. Alors que les habitants d'autres villages avaient fui avant même l'ordre officiel d'évacuation, ceux de Kinahrejo, le village de Mbah Marijan, faisant confiance au vieil homme et se sentant protégés, ont également refusé d'évacuer [Lavigne *et al.* 2008].

Enfin, certains individus ont parfois la certitude qu'ils comprennent mieux les choses que les scientifiques du fait du rapport intime qui les lie à leur volcan. Ils sont alors convaincus du bien-fondé de leur analyse personnelle (y compris lorsqu'elle est très éloignée de la *réalité volcanologique*) et des réactions à adopter pour faire convenablement face à la situation. Cela peut mener à des comportements inadaptés, du refus d'évacuer aux évacuations spontanées qui peuvent s'avérer extrêmement complexes à gérer[21].

Il n'en reste pas moins vrai que leur pouvoir d'observation leur sert parfois efficacement de technique de surveillance : sur les flancs du Semeru (Indonésie), certaines personnes âgées sont capables de distinguer une coulée pyroclastique d'un lahar au bruit qu'ils font en s'écoulant en amont dans la vallée ; l'observation de comportements inhabituels chez les animaux peut servir de signal d'alerte.

Les recherches au cours des années 1980-90 ont montré que la majorité des populations n'engagent pas les mesures auto protectrices préconisées par les autorités en dehors des périodes de crise [Johnston et Ronan 2000]. Les éléments précédemment énoncés participent sans doute de cette observation (confiance parfois accordée aux Dieux, à un intermédiaire choisi, à eux-mêmes plutôt qu'aux autorités officielles). Une raison essentielle réside aussi dans le fait que les populations cherchent le moyen de minimiser les désagréments quotidiens plutôt que des événements hypothétiques à plus ou moins long terme. Il est illusoire de vouloir proposer ou imposer des mesures qui, du fait d'une précarité quotidienne, sont déconnectées et inapplicables.

Les autorités de certains pays commencent tout juste à prendre conscience de ce décalage, sans toujours chercher à comprendre pourquoi elles ne sont pas entendues. En Indonésie, la création en 1990 d'un faux « *juru kunci* » (Mbah Ronggo), à la botte des autorités, était censée faciliter l'acceptation des évacuations au Kelut. La stratégie s'est soldée par un échec en 2007, les populations n'étant pas dupes et ne reconnaissant pas ce gardien des clefs politique [De Bélizal *et al.* 2012].

Si le respect des spécificités socio-culturelles des populations, essentiel à toute gestion de crise, commence à être pris en compte, le décalage dans sa mise en application est édifiant. Les populations, qui

[20] Ce cas d'étude est d'ailleurs intéressant au regard de la thématique de l'accès aux ressources que nous développons dans cette thèse. Les hindous jettent entre autres des bouquets de fleur et de la nourriture dans le cratère pour apaiser l'esprit du volcan. Quelques individus d'autres confessions religieuses descendent alors récupérer les offrandes – jusque dans des zones très escarpées – pour leur consommation personnelle ou les vendre aux touristes montés observer le panorama, à qui l'on conte qu'une offrande jetée au volcan porte bonheur. Les vendeurs redescendent alors la chercher et ainsi de suite... Un véritable business s'est monté autour de ces allers-retours intracratériques…

[21] Evacuations spontanées de plusieurs centaines de milliers d'habitants de Goma pendant l'éruption du Nyiragongo en 2002 : une action clef des autorités a été de purifier dans l'urgence les réserves d'eau pour réduire les risques d'apparition du choléra [Baxter et Ancia 2002]. Ces évacuations ont montré qu'en dehors de toute forme de croyance ou organisation, des sentiments (ici la peur) peuvent pousser à réagir. Le problème doit pouvoir être partiellement résolu par le biais d'une information préventive efficace.

sont les plus à même de définir leurs vulnérabilités et capacités de réponse, attendent toujours d'être pleinement intégrées dans les processus de décision.

Malgré les limites énoncées au cours des dernières pages, la gestion des risques volcaniques a permis à de nombreuses reprises d'éviter des catastrophes majeures et a fait d'énormes progrès ces dernières décennies, notamment du fait des leçons tirées de quelques grandes crises.

## 2.3. L'APPORT DES CRISES DANS LA GESTION DES RISQUES

Pour mieux rendre compte de la complexité des crises volcaniques, nous nous focalisons à présent sur quelques études de cas.

### 2.3.1. Les leçons tirées de quelques grandes crises

Les grandes éruptions des dernières décennies ont mis en évidence la nécessité d'améliorer, voire dans certains cas de repenser, la gestion des risques volcaniques. Pour illustrer cette évolution, nous avons choisi de dresser un rapide bilan :

- de crises situées dans les trois premiers rangs des plus grandes catastrophes volcaniques du 20ème siècle en terme de bilan humain ou matériel dans la base EM-DAT : St. Helens, Nevado del Ruiz, Pinatubo, Tungurahua, montagne Pelée (Figure 2, p.25) ;

- de la récente crise islandaise ;

- d'autres crises significatives en milieu insulaire : la Soufrière de Montserrat, catastrophe majeure par son ampleur et sa durée et *exemplaire* dans sa gestion ; la Soufrière de Guadeloupe avec des impacts moindres mais une crise très forte au plan opérationnel ;

- enfin, d'une crise particulièrement redoutée : le prochain réveil du Vésuve.

L'évocation de ces quelques cas doit nous permettre de parcourir le panel des défaillances, conséquences et évolutions en matière de gestion de crise opérées ces dernières décennies. Elle permet ainsi de porter l'attention sur les facteurs à considérer de façon prioritaire pour une gestion réussie des crises.

#### ❖ *Mont St. Helens : une amplitude sous-estimée*

En 1978, Crandell & Mullineaux soutiennent la probabilité d'une éruption avant la fin du siècle du Saint Helens, au repos depuis 1857. Cette alerte attire peu l'attention[22] et est vite oubliée par la plupart des destinataires, jusqu'à ce que des séismes, explosions phréatiques, et une inflation du flanc septentrional se produisent à partir de mars 1980. Les scientifiques alertent sur la forte probabilité d'une éruption, qui pourrait être provoquée par un glissement de terrain, sans pouvoir prévoir sa date. Les précurseurs qu'ils espèrent observer ne se produisent pas et, le 18 mai, une éruption paroxysmale se produit sous la forme d'un glissement de terrain massif accompagné d'un blast dirigé latéralement, suivis d'une explosion plinienne. Cent personnes meurent dans le blast [Johnston et Ronan 2000].

Les prévisions au long terme ont été aussi bonnes que le permettaient les connaissances géologiques de l'époque. La signification du gonflement et la possibilité du glissement et du blast latéral ont été prévues

[22] Elle provoque tout de même une brève agitation car un officiel interprète cette alerte au long terme comme l'indication d'une éruption imminente [Newhall 2000].

mais largement sous-estimées[23]. Deux glissements de terrain de grande ampleur seront identifiés rétrospectivement sur l'édifice. Les retombées de cendres et les lahars ont par contre été anticipés aux bons endroits et dans les bonnes proportions[24]. L'absence de précurseurs significatifs a par contre rendu la prévision à court terme impossible [Newhall 2000]. Pour ajouter au trouble, des leaders religieux évangélistes prêchent à la radio que l'éruption est une punition divine en réponse aux péchés humains [Blong 1984].

Plusieurs autres éruptions de moindre ampleur se produisent jusqu'en 1986, toutes anticipées et accompagnées d'alertes délivrées avec succès.

### ❖ *Du refus de l'expertise à l'agonie d'Omayra : le désastre du Nevado del Ruiz*

L'éruption du Nevado del Ruiz (Colombie), le 13 novembre 1985, a fait plus de 20 000 morts à Armero. Les scientifiques avaient averti que cette ville, située à 72 km du volcan, était directement implantée dans le chenal d'écoulement des lahars qui seraient engendrés par une éruption (du fait du transport des dépôts de coulées pyroclastiques par la fonte de la calotte de neige du volcan). Malgré cet avertissement, une série d'erreurs humaines a contribué à l'absence d'alerte et à la catastrophe.

La police, une fois le début de l'éruption annoncé, n'a apporté quasiment aucune réponse, essentiellement parce qu'elle n'aurait pas su comment traduire l'alerte en mesures protectives pour le public. Elle était par ailleurs en attente de la mise à jour du plan de gestion des urgences, qui devait intervenir deux jours après que l'éruption ne se déclenche.

La peur d'une fausse alerte a poussé les autorités à négliger l'avis des scientifiques, qui, de leur côté, n'ont probablement pas su transmettre les bons messages.

Enfin, il y a eu un manque flagrant d'information préventive : aucun programme d'éducation ou d'information n'a été mené avant les événements, et le pays manquait de systèmes d'alerte et de plans d'évacuations établis, testés et opérationnels.

A ces différentes défaillances, soulignées par [Johnston et Ronan 2000], il convient d'ajouter le facteur essentiel de l'instabilité politique. L'armée était la seule à concrètement pouvoir organiser une évacuation, or, la faire intervenir était problématique car ses ressources étaient dédiées à la lutte contre la guérilla. Il était alors plus confortable de négliger l'expertise [Durieux, com. pers., 2007]. Enfin, l'organisation et le coût que représente une évacuation pour un pays peuvent pousser ses responsables politiques à attendre l'arrivée de l'aide internationale pour bénéficier de moyens importants en économisant, voire en s'enrichissant.

Cela sous-entend que l'efficacité des mesures de prévention est très incertaine, si le contexte de vulnérabilités au sein duquel elles sont censées s'exercer n'a pas été préalablement pris en considération.

L'agonie en plan rapproché d'Omayra, une petite fille prise dans la boue que les sauveteurs ne pourront pas sauver, est retransmise sur les télévisions du monde entier, marquant un tournant décisif de l'irruption médiatique dans le champ des catastrophes *naturelles*. L'entrée en jeu de ce nouvel acteur médiatique est

[23] Cet épisode permettra de réaliser que la possibilité d'avalanche de débris et blasts a été sous-évaluée sur de nombreux autres édifices volcaniques (Galunggung, Raung, Bandai, Bezymiani, etc.).

[24] Mis à part un lahar à North Flok qui a eu une origine inattendue : le drainage brutal de dépôts d'avalanche de débris [Newhall 2000].

de nature à empêcher qu'une catastrophe de ce type ne se reproduise[25]. De nos jours, l'absence de réaction des autorités face à une expertise scientifique alarmante déclencherait immanquablement un tôlé. La pression médiatique est désormais à même de peser sur les prises de décision jusque dans le domaine de la gestion des crises, en empêchant l'inaction tout comme des prises de décision hâtives.

### ❖ *L'éruption de 1991 au Pinatubo, un parfait exemple de crise volcanique majeure bien gérée ?*

En 1988, le Pinatubo a été reconnu comme actif, mais l'information a été faiblement divulguée et est restée sans grand effet [Newhall 2000]. A partir d'août 1990, soit après plusieurs décennies de calme, le volcan montre des signes de réveil (séismes ressentis, apparition d'une fissure fumante et d'un glissement de terrain sur un flanc) qui sont attribués aux suites d'un séisme régional (Mg = 7.8) qui s'est produit peu de temps auparavant. Mais à partir de mars 1991, de la sismicité est à nouveau ressentie et des explosions phréatiques se produisent. Le PHILVOCS (institut philippin de volcanologie et de sismologie), aidé de l'USGS (institut américain d'études géologiques[26]), met alors en place une surveillance sismique et de la chimie des fumerolles et cours d'eau, et recommande l'évacuation des villages situés dans un rayon de 10 km autour du sommet.

Un schéma de niveaux d'alerte simple et compréhensible est mis en place. Dans le même temps, un film[27] sur les risques volcaniques majeurs est diffusé aux autorités en charge des dispositifs d'alerte et de secours et aux populations des villes et villages exposés. Réalisé par M. et K. Krafft à la demande de l'IAVCEI après le désastre d'Armero, le film doit faire prendre conscience au public des différents types d'aléas, des zones immenses qu'ils peuvent affecter, et de leurs effets, pour *in fine* le convaincre du bien-fondé des décisions d'évacuation. Sa projection va entraîner la prise de conscience recherchée et permettre l'évacuation des alentours du Pinatubo sans trop de résistance (même si quelques sceptiques dans les rangs des officiels et des populations compliquent la gestion de l'événement). A mesure que les niveaux d'alerte sont relevés, le rayon d'évacuation est progressivement porté à 30 km, soit à peu près 85 000 personnes évacuées le soir du 14 juin et de nombreux biens mobiles mis à l'abri (notamment tous les moyens aériens de la base militaire américaine de Clark ; Newhall [2000]). L'éruption paroxysmale qui débute le lendemain s'élève au rang de la catastrophe volcanique qui a affecté le plus de personnes au 20ème siècle et au 3ème rang en termes de coût des dommages [CRED 2010] mais ne fait *que* 800 victimes. Par ailleurs, les épidémies gastro-intestinales et de rougeole dans les centres d'évacuation [Bautista 2006] soulignent la vulnérabilité des populations déplacées puis regroupées[28]. Longtemps après l'arrêt de l'activité, les effets sur les sociétés persistent : populations qui n'ont pas toutes pu regagner leurs terres, soumises à des lahars réguliers, etc. La gestion de la crise proprement dite reste toutefois un succès [Gaillard 2001].

Une coopération scientifique internationale permettant l'acquisition de données solides, des prévisions qui se sont révélées exactes, une vulgarisation adéquate des données par les scientifiques assortie de la vidéo

---

[25] Le rôle des médias n'est pas pour autant toujours positif : recherche de contradictions, de sensationnalisme, fausses informations, multiplication des intervenants parfois difficile à gérer par les autorités, interview de personnalités non qualifiées ou qualifiées mais non incluses dans les équipes de gestion et pouvant donner un autre avis de nature à semer la confusion dans l'esprit du public, etc.

[26] L'United States Geological Survey (USGS) dispose d'un groupe d'assistance pour les pays en voie de développement : le Volcano Disaster Assistance Program. Les pays concernés par des crises volcaniques peuvent demander un soutien scientifique à la Wovo (organisation mondiale des observatoires volcanologiques), dont les experts appuient volcanologues locaux et autorités sans s'y substituer.

[27] Le film "Understanding Volcanic Hazards" a été réalisé en collaboration avec l'UNESCO, l'UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization) et l'USGS. Il a été suivi d'un second volet, "Reducing Volcanic Risk" (*http://volcanoes.usgs.gov/about/publications/video.php*).

[28] Même si les grandes épidémies post-éruptives sont devenues rares au 20ème siècle, notamment grâce à l'intervention rapide des agences d'aide en contexte post-catastrophe.

édifiante de l'IAVCEI (et d'un message sur la nécessité à agir dans de telles circonstances ; Johnston et Ronan [2000]), des autorités réceptives, des alertes pré-éruptives claires et délivrées au bon moment, l'intervention de religieuses jouant les intermédiaires entre scientifiques et populations sont autant de facteurs qui ont contribué au bon déroulement des événements [Newhall 2000][29]. Les leçons tirées des crises du passé ont été payantes.



### ❖ *Eyjafjallajökull ou la prise en compte annoncée de l'impact des volcans sur la sécurité aérienne*

Bien que la crise islandaise du printemps 2010 ne figure pas encore dans les bases de données sur les catastrophes, elle a eu un impact économique et social majeur en paralysant le ciel européen, provoquant l'annulation de milliers de vols pendant plusieurs semaines (soit des millions d'euros de pertes et des millions de passagers bloqués loin de chez eux ou privés de leur destination [Lavigne et De Bélizal 2010]). Elle a rappelé que les conséquences d'une éruption peuvent se ressentir à très petite échelle, bien au-delà du périmètre du volcan, y compris lorsque celui-ci est isolé sur une île lointaine. Ironiquement, l'Islande a été relativement épargnée par les conséquences de l'éruption, mis à part dans les zones directement situées autour du volcan, soit moins de 2% du territoire [C. Frantzen, com. pers.].

La réponse en France a pris la forme d'une cellule de crise interministérielle, coordonnée par le MEEDDM[30], dans laquelle ont été impliqués des experts de divers champs (volcanologues, météorologues, motoristes) regroupés en téléconférences biquotidiennes, assurant une veille 24h/24 et une surveillance locale sur le volcan. Cette cellule avait trois enjeux : assurer la sécurité aérienne, gérer les passagers bloqués loin de leur arrivée, limiter les impacts économiques de l'événement.

Le problème de la sécurité aérienne a été pris en compte depuis les incidents survenus sur des avions ayant traversé les nuages du Galunggung (Indonésie) en 1982 et du Mt. Redoubt (Alaska) en 1989. Miller et Casadevall [2000] ont mis en évidence les conséquences possibles sur les appareils, des modélisations ont été développées pour suivre la progression des nuages volcaniques, mais Witham [2005] souligne que les impacts de ces événements (fermetures massives et prolongées du trafic aérien) étaient rarement quantifiés. A l'évidence, l'éruption islandaise fera évoluer la gestion des risques dans ce domaine ces prochaines années. Cette crise a dès le mois de juillet 2010 fait l'objet d'une audition publique à l'Assemblée Nationale française intitulée « Les leçons à tirer de l'éruption du volcan Eyjafjöll », mettant autour de la table des spécialistes des sciences de la terre et de l'atmosphère, professionnels de la santé, du transport aérien, et industriels de l'aéronautique. Les défaillances énoncées et mesures envisagées permettent de penser que les évolutions porteront sur l'amélioration des modélisations de propagation des nuages, l'établissement de seuils de concentration réglementant les mesures à prendre sur le trafic aérien (grâce à une meilleure compréhension de l'impact des particules sur les moteurs), la mise au point de scenarii de risque à l'échelle européenne et de plans d'intervention pour des situations spécifiques d'urgence (acheminements de dons d'organes ou de médicaments dans les zones isolées par exemple), ou encore l'implantation à bord des appareils d'un instrument de bord permettant la détection des cendres.

Des travers communs à de nombreuses crises n'ont pas échappé à celle-ci : un manque de communication

[29] Seul bémol, un arbre d'événement probable pour des coulées pyroclastiques est préparé mais n'est pas diffusé largement aux destinataires de l'alerte par manque de temps pour le développer pleinement et l'expliquer. Rétrospectivement, les probabilités estimées étaient d'ailleurs trop basses, mettant en évidence la nécessité à préparer les arbres d'événements en amont des crises.

[30] Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer.

entre pays[31], l'absence d'un langage commun entre volcanologues et météorologues (mais une bonne coordination nationale et les liens forts entre instituts de recherche et organismes opérationnels en France), l'incertitude des modélisations des VAAC, l'appréhension des autorités compétentes à prendre des décisions[32]. Le risque a été clairement identifié mais n'était pas mesurable dans l'état actuel des connaissances, qu'elles concernent l'aléa (l'alimentation, la propagation et la concentration du nuage) ou la vulnérabilité physique des appareils (les seuils de résistance des moteurs).

Trois points importants énoncés par les intervenants méritent d'être soulignés :

- Vincent Courtillot, Directeur de l'IPGP, a prévenu qu'une éruption de plus grande ampleur avec l'entrée du nuage de cendres dans la stratosphère entraînerait une fermeture de l'espace aérien de l'Atlantique Nord pendant un an, à l'heure où la surveillance volcanologique laisse penser que le Laki pourrait prochainement produire une éruption de ce type. Patrick Allard, chercheur à l'IPGP, a ajouté à cela qu'en Europe d'autres volcans, notamment en Italie et en Grèce, constituent de véritables bombes à retardement, pour conclure sur le besoin de création d'une *task force* européenne. Ces remarques témoignent à la fois du fort potentiel catastrophique des éruptions et de carences en termes de gestion des risques dont nous avons conscience mais qui ne sont pas pour autant résolues.

- Patrice Hardel, directeur de l'aéroport parisien Roissy CDG, a souligné que la crise avait été tellement radicale par son ampleur et sa durée qu'elle avait finalement été sans doute plus simple à gérer puisque les passagers ne venaient plus à l'aéroport.

- Une des conclusions émises par le Dr Pierre Verger, Directeur des études de l'Observatoire régional de la santé de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, est l'absence quasi totale de données sur les impacts sociaux et économiques pour les voyageurs : « *on ne cherche que ce qu'on trouve* ». Une fois de plus, le traitement social des catastrophes est donc négligé.

Enfin, tous s'accordent à dire qu'un retour d'expérience est nécessaire pour améliorer les dispositifs.

#### ❖ *Le futur réveil du Vésuve, plus grande anticipation de crise volcanique jamais pensée ?*

Les scientifiques prévoient que la prochaine éruption du Vésuve devrait être d'une intensité comparable à celle de son éruption de 1631, d'un VEI égal à 4[33] [Scandone *et al.* 1993]. Elle avait fait 4000 à 6000 victimes (respectivement selon Rosi *et al.* [1993] ; et Rolandi *et al.* [1993]) et provoqué la dévastation de terres arables et quartiers entiers à une époque où les pentes du volcan étaient beaucoup moins densément peuplées qu'aujourd'hui. Une telle activité affecterait désormais les quelque 700 000 habitants des 18 communes situées en zone rouge, dans un rayon de 8 km autour du cratère [Guidoboni et Boschi 2006]. Les coulées pyroclastiques constituent l'aléa le plus redouté. Un objectif prioritaire des autorités est de réduire la durée d'évacuation de cette zone à 72 h de façon à pouvoir déclencher l'évacuation au moment le plus opportun[34]. Des mesures préventives à long terme sont envisagées pour réduire la densité de population, qui atteint 13 322 habitants au km$^2$ à Portici, en zone rouge. La proposition, à la fin des

[31] La situation de l'Europe, à cheval sur deux VAAC (Londres et Toulouse), a été de nature à favoriser les réseaux nationaux. Selon C. Frantzen, de l'Institut pour la maîtrise des risques, "*il ne faut pas s'étonner qu'un pays qui reçoit des informations d'un VAAC éloigné se renseigne auprès des autorités scientifiques de son propre pays*" pour prendre ses décisions.

[32] Notamment le refus des motoristes à fixer des seuils de concentration en particules à partir desquels les avions pourraient voler, qui a imposé de maintenir tous les avions au sol en vertu du principe de précaution. Ces décisions prudentes en situation d'incertitude ont alimenté l'ampleur de la crise en provoquant des perturbations sans précédent – mais en évitant peut-être en contrepartie qu'une catastrophe ne se produise.

[33] La colonne a atteint de 19 km à 28 km de hauteur [Rolandi *et al.* 1993], et a été accompagnée d'une décapitation de la partie sommitale du volcan d'environ 170 à 450 mètres.

[34] C'est-à-dire le plus tard possible tout en ayant le temps d'évacuer l'ensemble de la population avant le début de l'éruption ; d'autant plus que la zone à évacuer pourrait être plus conséquente : un million d'habitants occupent les 59 communes de la zone jaune.

années 1990, de reconstruire les villes à l'identique dans des zones sûres a rencontré une forte opposition [Kert 1999]. Le projet Vesuvia, qui consistait à offrir 30 000 euros par famille qui accepterait de déménager de la zone rouge à partir de 2004 a également été un échec, servant uniquement de moyen de lutter contre la précarité pour des familles qui se réinstallaient immédiatement en zone rouge (voire en en attirant d'autres souhaitant toucher la prime) [Dimeo 2006b]. A défaut, les plans de gestion actuels intègrent un système de jumelage mis en place par différentes communes italiennes pour planifier l'accueil des habitants des communes évacuées. Les modalités de gestion de crise font l'objet d'une réflexion permanente tandis que les prévisions sont constamment affinées (via des modélisations, cartographies, scenarii plus précis).

Ces mesures sont d'autant plus indispensables que la perception du risque par les populations exposées a fait l'objet de plusieurs enquêtes dont les résultats inquiètent les scientifiques et autorités. Ils montrent en autres qu'une portion de la population refuserait une évacuation au nom de diverses considérations d'ordre socio-culturel [Barberi *et al.* 2008 ; Carlino *et al.* 2008 ; Solana *et al.* 2008]. Les actions d'information préventive se sont multipliées ces dernières années, dans les écoles comme dans les quartiers, pour tenter de provoquer une adhésion maximale aux plans d'évacuation. Dobran [2006] et ses collaborateurs ont voulu aller plus loin à travers le projet Vesuvius 2000 en « *préparant l'aire napolitaine à faire face aux futures éruptions du Vésuve avec un minimum de conséquences socio-économiques et culturelles* ». Un exercice de protection civile grandeur nature, impliquant l'ensemble des acteurs qui seraient concernés en situation réelle, a été organisé à Naples en 2006 pour tester les capacités de réaction des autorités et populations face à un réveil du Vésuve. Plus grand exercice de ce type à ce jour en Europe, Somma Vesuvius Mesimex (Major Event SImulation EXercise) s'est déroulé dans un contexte d'urgence météo inattendue qui a provoqué la fermeture de la principale voie d'évacuation de Naples. Des faiblesses au niveau des communications et voies d'accès ont ainsi été mises à jour [Dimeo 2006a], permettant de penser une planification plus ajustée.

Ce type d'exercice reste trop rare, notamment du fait d'un coût d'organisation élevé, mais marque un pas important dans la gestion des risques volcaniques en s'intéressant à la tangibilité des planifications (la gestion envisagée est-elle à tous points de vue applicable en situation réelle ?) et aux défaillances prévisibles de la gestion de crise.

Loin du traitement généralement réactif des crises, le réveil du Vésuve fait l'objet d'une forte anticipation. Un traitement proactif des crises aussi assidu pour toutes les grandes métropoles menacées serait souhaitable.

### 2.3.2. Les grandes crises volcaniques en milieu insulaire

#### ❖ *Le réveil de la Montagne Pelée en 1902, première grande catastrophe volcanique en milieu insulaire*

Le réveil de la Montagne Pelée se traduit, de janvier à avril 1902, par une activité fumerolienne marquée suivie d'explosions phréatiques. A partir du 2 mai, les éruptions phréatiques prennent de l'ampleur, annonçant l'arrivée du magma en surface le 6 mai, puis une éruption majeure le 8 mai. Ce jour-là, des coulées pyroclastiques détruisent les villes de Morne Rouge et Saint-Pierre - capitale culturelle et commerciale de la Martinique -, faisant 28 000 morts [Lacroix 1904].

Chrétien et Brousse [2002] relatent les réponses du public à chaque phase de l'éruption jusqu'à cet événement catastrophique. Effrayés par une odeur d'œuf pourri croissante depuis des mois et par des retombées de cendres à partir du 24 avril, les habitants de la région du Prêcheur fuient vers Saint-Pierre,

région perçue comme zone refuge à l'abri des cendres. Des retombées de cendres sur l'ensemble de la Martinique dans la nuit du 2 au 3 mai entraînent un exode massif des zones les plus touchées vers les zones plus épargnées, dont Saint-Pierre. Dans le même temps, certains habitants de Saint-Pierre commencent également à fuir. Le 5 mai, un lahar de 5 millions de $m^3$ fait 23 morts à Rivière Blanche. Son arrivée en mer provoque un petit tsunami qui entraîne une panique généralisée dans Saint-Pierre, une fuite vers les montagnes, et l'encombrement de certaines routes. Les autorités restent calmes : trois jours avant l'éruption elles considèrent que seuls les bourgs placés sous les alizés sont menacés. Le Gouverneur reste en ville et appelle au calme.

Dans la nuit du 5 au 6 mai, les turbines électriques, engorgées de cendres, s'arrêtent. Saint-Pierre est plongée dans le noir. « *L'incident favorise la spontanéité d'une partie de la population à amplifier toute annonce de catastrophe. Les faux-bruits qui circulent provoquent des mouvements de panique. Saint-Pierre craint un lahar, un débordement analogue à celui de la Rivière Blanche* ».

L'émigration de Saint-Pierre est de plus en plus intense : le nombre de voyageurs partant pour Fort-de-France a presque quadruplé depuis le 4 mai, avec 300 passagers par jour sur le bateau qui assure la liaison maritime. Le 7 mai, 1350 personnes environ ont quitté la ville, soit 5% de la population (et tous les animaux qui le pouvaient se sont enfuis), mais pour beaucoup l'invulnérabilité de Saint-Pierre reste d'actualité. Face à l'inquiétude générale, le Gouverneur finit par nommer une commission[35] qui conclut, 45 minutes avant la catastrophe, que « *la sécurité de Saint-Pierre reste entière* ». Le 8 mai, jeudi de l'Ascension, un grand nombre de curieux profitent de leur congé pour venir par bateau voir Saint-Pierre. La ville est entièrement rasée par des coulées pyroclastiques, seules deux personnes survivent. Le cycle éruptif s'achève trois ans plus tard, en 1905.

Avec du recul « *l'accélération des phénomènes, lors de la dernière semaine, est suffisamment significative pour que nul volcanologue ne puisse se méprendre* » [Chrétien et Brousse 2002]. A l'époque toutefois, les conditions étaient réunies pour que la catastrophe se produise :

- Les deux éruptions précédentes de la Pelée, en 1792 et 1851, phréatiques (avec des retombées de cendres et lahars de faible intensité) n'ont pas provoqué de catastrophe. Malgré leurs craintes, les populations espéraient une reproduction de ces scenarii éruptifs, au lieu de quoi un changement radical d'activité s'est produit.

- L'inexpérience en matière de volcanologie était totale à double titre : aucun spécialiste n'était présent en Martinique à ce moment-là (y compris dans la commission scientifique qui a émis les recommandations). Par ailleurs, les coulées pyroclastiques étaient méconnues. Elles sont décrites en [1904] par A. Lacroix, dépêché en Martinique pour étudier l'éruption après la destruction de Saint-Pierre[36].

- La théorie d'une sous-estimation volontaire du risque par les autorités pour maintenir les populations en place à l'approche des élections législatives[37] a longtemps prévalu. Chrétien et Brousse [2002] démentent cette théorie, soulignant que « *les réactions des officiels responsables ont été, à la lumière de leurs connaissances, tout à fait rationnelles* ». Cela dit, l'absence d'évacuation officielle au Prêcheur, village le plus exposé aux éruptions jusqu'au 8 mai, montre que toutes les décisions politiques qui s'imposaient

[35] Composée d'un enseignant en sciences de la terre et de militaires, ingénieurs, pharmacien. Aucun volcanologue n'en fait partie.

[36] Il observe le même phénomène qu'il nomme Nuées Ardentes d'après un nom donné par Fouqué en 1872 à un phénomène similaire aux Açores en 1818.

[37] Le second tour des élections législatives devait se tenir le 11 mai, dans une période de trouble politique après l'affaire Dreyfus qui avait profondément divisé l'opinion. Certains pensent à ce titre que le rapport de la Commission nommée le 7 mai a été dicté par le Ministre des Colonies afin que les élections se déroulent correctement.

raisonnablement n'ont pas été prises.

- En l'absence d'ordre d'évacuation officiel, deux problèmes se sont posés. D'une part, « *les habitants de Saint-Pierre avaient la liberté de quitter leur ville, mais ils étaient incapables d'en apprécier la nécessité* ». D'autre part, «*même s'ils avaient souhaité partir, la majorité d'entre eux, faute de moyens pécuniaires pour se nourrir et se loger ailleurs, ne pouvait que rester sur place*», problème récurrent des évacuations spontanées qui laissent en marge les individus les plus pauvres.

### ❖ *Un conflit d'experts sans précédent à la Soufrière de Guadeloupe en 1976*

De juillet 1975 à juillet 1976, une activité micro-sismique croissante laisse présager un réveil de la Soufrière de Guadeloupe. Le 8 juillet 1976, le volcan produit une éruption phréatique qui entraîne l'évacuation spontanée de 30 000 habitants de Basse-Terre qui reviennent pratiquement tous sous une dizaine de jours. La grande question est alors de savoir si l'activité va évoluer vers des explosions magmatiques du type de celle de 1902 à la Montagne Pelée, et si en conséquence une évacuation massive doit être déclenchée et combien de temps elle doit être maintenue. Le conflit s'installe entre deux groupes scientifiques. L'un, mené par C.-J. Allègre, dresse un scenario catastrophique de l'évolution de l'activité, argumentant ses affirmations par la grande quantité de magma frais trouvée dans les retombées de l'explosion phréatique. L'autre, mené par H. Tazieff, met au contraire en évidence les absences de magma frais dans les retombées, de migration des foyers sismiques vers la surface et de modification de la composition et de la température des gaz. Il se prononce pour le maintien des Basse-Terriens chez eux. Les autorités, en vertu du principe de précaution, choisissent de se référer au scenario catastrophe. Les occupants des hôpitaux et de la prison de Basse-Terre ont déjà été évacués vers la Martinique les 9 et 10 juillet. Suite à deux nouvelles éruptions les 9 et 12 août, l'ordre d'évacuation est lancé aux 76 031 habitants des communes de Basse-Terre concernées par la menace volcanique [Lebrun 2010]. Comme au Vésuve, des jumelages étaient prévus entre communes pour accueillir les populations évacuées. La durée de l'évacuation (officiellement 3 mois et demi) fait naître des tensions sociales entre réfugiés et population d'accueil et engendre des pertes économiques lourdes pour les secteurs agricole et touristique [Lebrun 2010]. Une vingtaine d'événements phréatiques surviennent jusqu'au 1$^{er}$ mars 1977, jour où la crise volcanique s'achève, sans qu'aucun dégât direct ne soit à déplorer.

Tazieff [1978] dénonce « *une aventure socio-scientifique où le volcan ne jouait qu'un rôle en réalité secondaire* » et, reléguant l'avis d'une partie de la population, s'interroge (sans prendre parti) sur les motivations réelles du choix politique. L'hypothèse présentée est qu'une majorité de fonctionnaires souhaitaient depuis longtemps le déplacement de la préfecture de Basse-Terre à Pointe-à-Pitre, capitale économique de l'île, siège de l'aéroport, des plages idylliques et des hôtels de luxe. L'évacuation prolongée aurait, dans cette optique, été une aubaine pour prouver l'utilité d'un déménagement.

Cette crise a démontré le rôle majeur de l'information et les difficultés à la canaliser. En quelques semaines, le conflit d'experts - qui ne fait qu'intensifier la crise -, est titré dans les journaux de nombreux pays. Les touristes français et anglo-saxons décommandent leur venue en Guadeloupe à la suite des présages catastrophiques déclinés dans les médias. Enfin, six mois après la fin de l'éruption, alors que les faits ont démontré que les présages alarmistes n'étaient pas fondés, de nombreux habitants n'osent toujours pas rentrer en Basse-Terre.

La crise de 1976 a clairement mis en évidence que la France n'était pas prête à faire face à la menace volcanique. Cet événement a ainsi conditionné un développement conséquent des réseaux de surveillance sur les volcans actifs d'Outre-Mer [Kert 1999].

### ❖ *Les deux tiers du territoire de Montserrat condamnés par la Soufrière Hills*

En 1992, alors que la surveillance de la Soufrière Hills (Antilles anglaises) est assurée par un dispositif instrumental léger, les premiers précurseurs d'une éruption qui débutera en 1995 sont détectés. Dès lors, l'île, petit territoire de 102 km$^2$, va littéralement vivre au rythme de la crise volcanique, alors qu'elle se remet à peine de l'ouragan Hugo qui l'a dévastée en 1989 [Jérémie *et al.* 1998]. L'évolution de l'activité conditionne à partir de décembre 1995 des évacuations successives, temporaires ou définitives, vers le Nord (dans des zones soumises aux retombées de cendres mais épargnées par les coulées pyroclastiques et lahars). Ces évacuations sont assorties d'une interdiction totale d'accès à la zone méridionale évacuée[38] - de plus en plus vaste -, et d'autorisations d'accès[39] à la zone tampon centrale qui impliquent une évacuation immédiate vers le Nord lorsque les sirènes retentissent. Des renforts militaires, logistiques et scientifiques anglais sont dépêchés sur place. La première grande évacuation, qui concerne toute la moitié Sud de l'île, a lieu en avril 1996. « *Montserrat devient alors une île en état d'urgence, quasiment fermée pour cause de volcan* » [Jérémie *et al.* 1998]. Le 25 juin 1997 le volcan fait ses 19 premières victimes en zone interdite, essentiellement des agriculteurs, quelques personnes âgées[40] et déficients mentaux. Plymouth, la capitale, est presque entièrement détruite par des coulées pyroclastiques. Des rumeurs d'évacuation totale se répandent dans la communauté installée dans les îles voisines et outre-Atlantique[41] [Buffonge 1998]. Les Montserratiens s'imaginent alors que le gouvernement leur cache la gravité de la situation et acceptent mal l'incertitude scientifique affichée [Jérémie *et al.* 1998]. En août, cette incertitude justifie la résiliation par les assureurs des contrats de tous les biens se trouvant sur l'île, y compris dans les zones épargnées[42]. Ce même mois, les 2/3 méridionaux de l'île sont déclarés zone interdite. Puis, à mesure que les cartes de risque sont actualisées, les phases d'évacuation se succèdent, avec des refus de plus en plus marqués des populations (y compris des officiels de haut niveau !) de partir de zones où elles se sentent en sécurité, et qui craignent de ne pas trouver leur place au Nord, ce qui signifierait pour elles devoir quitter l'île [Buffonge 2000]. Certaines personnes évacueront à six reprises à chaque fois un peu plus au Nord (beaucoup entre deux et trois fois) à mesure que les zones refuge deviennent zones menacées [Buffonge 1998]. Alors que l'activité économique était jusque-là concentrée au Sud, l'éruption entraîne en huit mois un profond bouleversement socio-économique avec une migration progressive des activités vers le Nord, jusqu'alors défavorisé. Cette nouvelle donne impose l'élaboration d'un Plan de Développement Durable pour gérer cette réorganisation territoriale majeure.

Des solutions sont également envisagées pour « désengorger » l'île. La Guadeloupe propose d'accueillir 3000 Montserratiens[43], tandis que le Royaume-Uni établit un Schéma d'Evacuation Volontaire. Buffonge

---

[38] Excepté pour l'instrumentation scientifique et les actions de Défense Nationale.

[39] En dehors de la centaine de personnes ayant refusé l'évacuation, les agriculteurs ont reçu des laisser-passer pour aller nourrir le bétail et travailler les champs deux heures toutes les 48h. Certains en profitent pour rester en zone interdite, ne voulant pas abandonner leur seule source de revenu [Jérémie *et al.* 1998].

[40] Cette éruption a mis en évidence le problème de perte d'indépendance des personnes âgées déplacées qui explique partiellement leur refus plus fréquent d'évacuer.

[41] Malgré les efforts d'information (deux rapports scientifiques quotidiens sur l'état de l'actualité volcanique diffusés sur Radio Montserrat (ZJB) avec des interviews en direct des scientifiques de l'Observatoire Volcanologique de Montserrat (MVO), une colonne réservée à l'actualité volcanique dans l'hebdomadaire de l'île et une newsletter mensuelle publiée par le MVO), la multiplication des rumeurs depuis l'étranger et en interne déclenche à plusieurs reprises des polémiques qui compliquent la gestion de crise. Ces rumeurs naissent souvent d'une dramatisation de la situation par la presse étrangère qui inquiète les familles vivant hors de l'île. Elles deviennent alors vecteur de cette information exagérée directement relayée aux proches ou indirectement via la presse locale [Buffonge 1998].

[42] Blong [2000] montre comment la crise du Rabaul en Papouasie a également modifié les systèmes assurantiels. Là où le risque est considéré comme excessif les assureurs se retirent du marché, limitent les garanties sur les biens les plus exposés, ou élèvent les primes à des montants que les assurés trouvent inacceptables. Au Rabaul, 10 ans avant l'éventuelle éruption, la crise sismique de 1984 produisit des résultats identiques : certains assureurs re-transférèrent le risque aux propriétaires, à la communauté et au gouvernement.

[43] En revanche, le gouvernement d'Antigua, qui a déjà accueilli 5000 Montserratiens depuis le début de la crise, refuse d'accueillir de nouveaux réfugiés sans contrepartie du gouvernement britannique [Buffonge 1998].

[1998] met l'accent sur les avantages de ce plan (deux ans d'accès aux soins, au chômage, au droit de travailler, à la gratuité de l'éducation, et une bourse dont le montant varie entre adultes et enfants - tout en soulignant également l'obstacle de la bureaucratie anglaise à l'arrivée -). Jérémie *et al.* [1998] soulignent au contraire le faible nombre d'habitants (3000) ayant accepté ces conditions jugées dérisoires par la grande majorité de la population. Un scénario d'évacuation généralisée de l'île - l'Opération Exode, qui heureusement ne sera jamais d'actualité[44] - est par ailleurs mis au point.

L'abandon de Plymouth, où se trouvaient les infrastructures majeures de l'île (hôpital, port, aéroport, administrations, banques, espaces de stockage, etc.), a entraîné la saturation rapide des systèmes de soin, voies de communication, activités financières, et la perte de la grande majorité des biens de l'île. Une forte dépendance vis à vis des territoires voisins (notamment de la Guadeloupe toute proche) en termes de moyens médicaux et de moyens d'évacuation maritimes, a été mise en évidence [Kert 1999]. L'événement a montré le manque de préparation face à une éruption majeure, notamment dans la gestion des évacuations : problèmes de promiscuité et d'hygiène dans les campements en préfabriqués, pillages des zones évacuées. Cela a poussé certains habitants à préférer le confort dangereux des zones à risque aux désagréments quotidiens des zones refuge [Buffonge 1998].

Robin et Lardy [2003] soulignent quant à eux les facteurs de réussite de la gestion de crise : une collaboration scientifique internationale efficace, des rapports de confiance entre experts et autorités civiles, la diffusion d'informations fiables et compréhensibles du MVO à la presse et de la presse aux populations pour « *atténuer les inquiétudes (…), limiter la circulation des rumeurs et/ou favoriser une prise de conscience du danger*».

### 2.3.3. Facteurs communs aux « grandes » crises volcaniques

Nous proposons en Tableau 3 une synthèse thématique des RETEX réalisés sur les crises volcaniques. Si chaque crise est unique, ses vecteurs de résolution ou d'aggravation sont dans les grandes lignes communs à tous les événements.

Gérer correctement une crise implique d'en prévoir l'occurrence et le déroulement avec le plus d'exactitude possible et de prendre des décisions adaptées pour assurer la sécurité. L'absence de certitude scientifique peut se traduire par des prévisions sous-évaluées (St Helens, 1980), des désaccords entre experts (Soufrière de Guadeloupe, 1976), l'impossibilité de prédire le *planning éruptif* précis du volcan (Soufrière Hills, 1995). L'expertise est parfois rejetée par les populations (Tungurahua, 1999) ou les autorités (Nevado Del Ruiz, 1985) pour des motifs socio-économiques, culturels ou politiques (parmi lesquels le refus de l'incertitude scientifique). Le rôle fondamental de l'information préventive (dans l'acceptation de l'expertise, la reconnaissance du danger, et la mise en place de mesures de protection) a été particulièrement mis en évidence par les crises du Nevado del Ruiz (échec) et du Pinatubo (réussite). Dans un registre proche, la mémoire des événements passés joue un grand rôle. L'Unzen a été évacué sans problème en 1990 grâce au souvenir toujours vivace de la catastrophe de 1792 (15 000 victimes). Les médias, de plus en plus présents, ont un rôle important à jouer dans la diffusion de ces informations, et dans le poids qu'ils peuvent exercer en matière de choix politiques, mais contribuent parfois à alimenter la crise (Soufrière Hills, 1995). Au Kelut, en Indonésie, en 2007, ils découragent les populations à évacuer en véhiculant une mauvaise publicité des centres de refuge [De Bélizal *et al.* 2012]. Dans tous les cas, la mise en relation des experts, des autorités civiles, des médias et de la population est souhaitable, afin de limiter les risques.

[44] Ce plan n'est rendu public qu'en 1998 dans l'optique d'un exercice de simulation organisé en juin.

Une crise éruptive mineure peut se révéler une vraie crise au plan opérationnel sans pour autant se traduire en catastrophe (Soufrière, 1976 ; Kelut, 2007), tandis que la gestion de crise proprement dite peut se passer idéalement dans le cadre de crises éruptives paroxysmales à l'origine de catastrophes majeures (Pinatubo, 1991). L'analyse des grandes crises volcaniques (fonctionnement ou endommagement) met systématiquement en lumière les vulnérabilités qui les sous-tendent. Repérer en amont ces facteurs de vulnérabilité, *marques de fabrique* des crises et catastrophes, et faire en sorte de les réduire, reste le plus sûr moyen de limiter les impacts d'une éruption volcanique. C'est pourquoi une crise implique presque toujours une réflexion qui conduit à l'amélioration, dans les mois ou les années suivantes, des modalités de gestion (du risque autant que de la crise elle-même, à travers de nouveaux modes de protection, outils de prévention, protocoles de gestion…), à la fois sur le territoire concerné mais aussi dans d'autres territoires plus ou moins distants[45]. Les progrès post-crise restent particulièrement ténus en ce qui concerne la prise en compte des facteurs de vulnérabilité. L'évolution de la gestion des risques reste essentiellement réactive, dictée par l'occurrence d'événements majeurs.

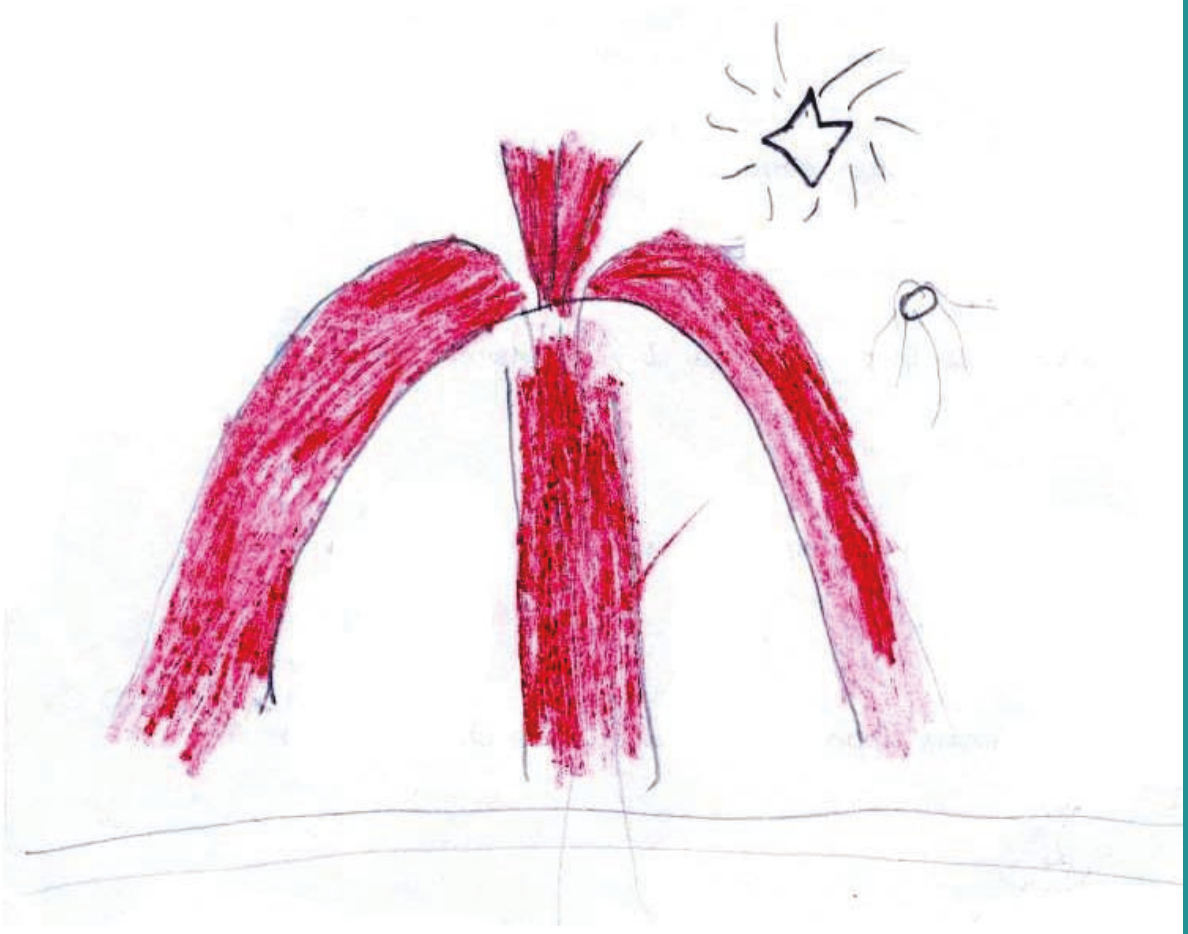
Fait encore trop peu souligné dans la littérature scientifique, la bonne gestion d'une crise réside en effet grandement dans la prise en compte des spécificités des populations et territoires menacés. Des facteurs indépendants de l'aléa (démographie, santé, pauvreté, accès aux ressources, protection sociale, religion, etc.) peuvent diminuer ou accroitre le potentiel de pertes lié aux éruptions volcaniques [Cannon 1994]. Il est illusoire d'espérer que l'acceptation de l'expertise scientifique, la diffusion de l'information, le discours médiatique, les diverses mesures de prévention, etc., soient efficaces en l'absence de prise en considération des divers critères de vulnérabilité d'autant plus complexes qu'ils s'entremêlent, s'alimentent, se contrecarrent les uns les autres. Ces obstacles sont parfois accentués en milieu insulaire.

[45] Même si souvent presque rien n'est fait pour traduire les informations gagnées en essais solides de réduction du risque avant que les éruptions surviennent [Blong 2000].

*Tableau 3 - Synthèse des principaux RETEX sur des crises volcaniques*

| Thématique | Edifice volcanique | Localité | Période d'activité étudiée | Références |
|---|---|---|---|---|
| Les réponses institutionnelles et leur efficacité | Merapi | Indonésie | 1994, 2010 | Mei et Lavigne [2012] |
| | Kelut | Indonésie | 2007 | De Bélizal *et al.* [2012] |
| | Karthala | Comores | 2006 | Morin *et al.* [2009] |
| | Teide | Canaries | 2004-2005 | Bailey *et al.* [2010] ; Perez [2010] ; Villalba [2010] |
| | Miyake-jima | Japon | 2000 | Aoyama [2010] ; Augendre et Perrin [2011] |
| | Mont Usu | Japon | 2000 | D'Ercole [2002] ; [Augendre 2004] |
| | Soufrière Hills | Montserrat | 1995-1999 | Lesales [1996] ; Aspinall et Cooke [1998] ; de Vanssay et Colbeau-Justin [1999] |
| | Guagua Pichincha | Quito, Equateur | 1998 | Metzger *et al.* [1999] |
| | Pinatubo | Philippines | 1991-1998 | Tayag *et al.* [1996] ; Leone et Gaillard [1999] |
| | Nevado del Ruiz | Colombie | 1985 | Voight [1990] |
| | Soufrière de St-Vincent | St-Vincent, Caraïbes | 1979 | Fiske [1984] |
| | Soufrière | Guadeloupe | 1976 | Fiske [1984] ; Lepointe [1999] |
| | Tokachi | Japon | 1926 | Augendre [2004] |
| | Montagne Pelée | Martinique | 1792, 1851-52, 1902-1905, 1929-1932 | Lesales [1994] ; Ursulet [1994] |
| Représentations et réponses des populations | Eyjafjallajökull | Islande | 2010 | Bird et Gísladóttir [2012] |
| | Merapi | Indonésie | 2010 | Balgos *et al.* [2012] ; Mei et Lavigne [2012] |
| | Kelut | Indonésie | 2007 | De Bélizal *et al.* [2011a] |
| | Merapi | Indonésie | 2006 | Texier [2007] |
| | Karthala | Comores | 2006 | Morin *et al.* [2009] |
| | Guagua Pichincha | Quito, Equateur | 1998-1999 | Metzger *et al.* [1999] ; D'Ercole et Metzger [2001] |
| | Ruapehu | Nouvelle Zélande | 1997 | Paton *et al.* [2001] |
| | Soufrière Hills | Montserrat | 1995-1996 | Lesales [1996] ; Donovan *et al.* [2011] |
| | Soufrière Hills | Montserrat | 1995-1999 | de Vanssay et Colbeau-Justin [1999] |
| | Pinatubo | Philippines | 1991-1998 | Cola [1996] ; Leone et Gaillard [1999] ; Gaillard et Leone [2000] |
| | Hudson | Chili | 1991 | Wilson *et al.* [2012] |
| | Nevado del Ruiz | Colombie | 1985 | Voight [1990] |
| | Mont Saint-Helens | Etats-Unis | 1981 | Greene *et al.* [1981] ; Perry et Greene [1983] ; Saarinen et Sell [1985] ; University of Delaware [1990] |
| | Soufrière de St-Vincent | St-Vincent, Caraïbes | 1979 | Fiske [1984] |
| | Soufrière | Guadeloupe | 1976 | Fiske [1984] ; Lepointe [1999] |
| | Tristan da Cunha | Atlantique sud | 2004 | Hards [2009] |
| | Tristan da Cunha | Atlantique sud | 1961 | Lewis *et al.* [1972] |
| | Kilauea | Hawaii | 1960 | Gregg *et al.* [2008] |
| | Paricutin | Mexique | 1943-1944 | Nolan [1979] |
| | Montagne Pelée | Martinique | 1792, 1851-52, 1902-05, 1929-32 | Lesales [1994] ; Ursulet [1994] |
| Constats d'endommagement | Eyjafjallajökull | Islande | 2010 | Lund et Benediktsson [2011] |
| | Merapi | Indonésie | 2010 | Damby *et al.* [2012] |
| | Guagua Pichincha | Quito, Equateur | 1998-1999 | D'Ercole et Metzger [2000] |
| | Galeras | Colombie | 1993 | Baxter et Gresham [1997] |
| | Pinatubo | Philippines | 1991 | Gaillard [2001] |
| | Hudson | Chili | 1991 | Wilson *et al.* [2011] |
| | Mont Saint-Helens | Etats-Unis | 1981 | Horwell et Baxter [2006] |

# Chapitre II - Deux territoires insulaires exposés au risque volcanique



Le Karthala par Naïla, en CM2 à Iconi, mai 2007.

# Chapitre II - Deux territoires insulaires exposés au risque volcanique

Ce second chapitre est en premier lieu dédié à une compréhension synthétique des contextes réunionnais et grand-comorien à travers une description de leurs caractéristiques physiques et humaines. Les deux îles présentent de nombreuses similitudes sur le plan naturel, et des divergences marquées sur les questions sociétales actuelles.

Un intérêt particulier est porté dans un deuxième temps à l'exposition de ces territoires aux menaces volcaniques.

L'analyse menée doit *in fine* permettre de : (1) comprendre le choix des zones d'étude spécifiques où ont été développées nos problématiques ; (2) poser les bases nécessaires à la compréhension de l'analyse qui sera faite de la gestion des crises dans les Chapitres IV à VI.

## 1. DEUX ILES VOLCANIQUES TROPICALES AU DEVELOPPEMENT SOCIO-ECONOMIQUE CONTRASTE

La Réunion est un département français d'Outre-Mer de 808 250 habitants [INSEE 2011] situé dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, à 750 km à l'Est de Madagascar et 180 km au Sud-Ouest de l'île Maurice (Figure 3).

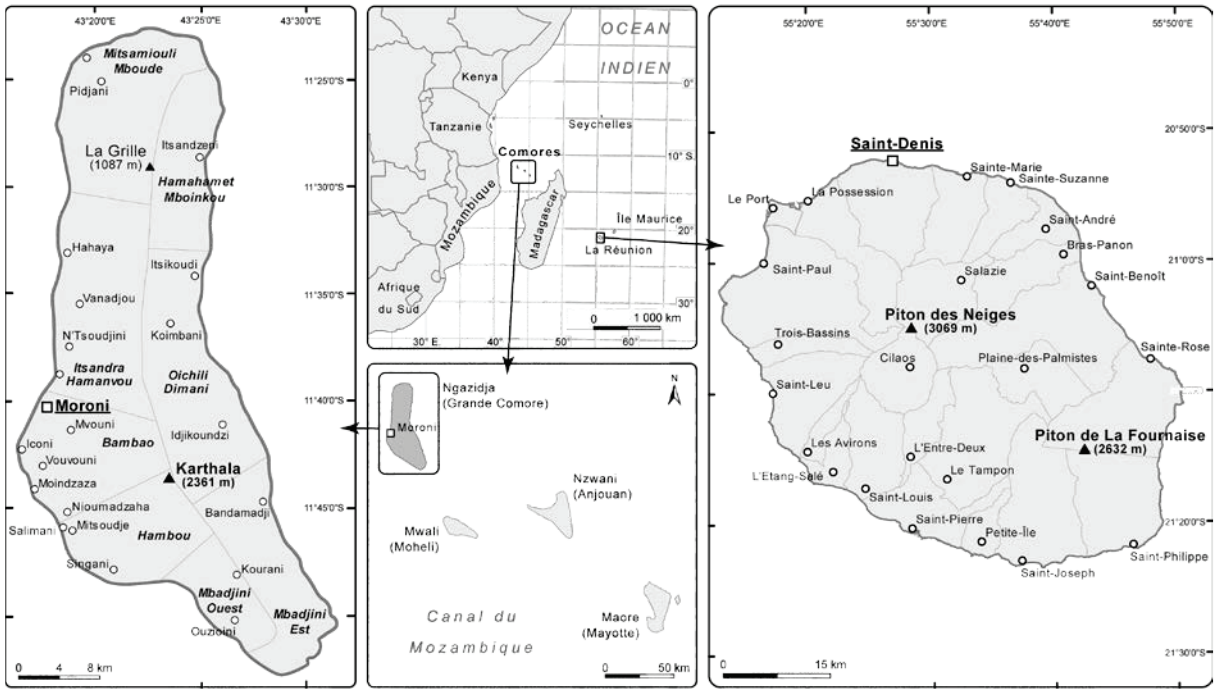



*Figure 3 - La Grande Comore et La Réunion dans leur contexte régional ; principaux villages et villes et détails des limites administratives préfectorales pour la Grande Comore et communales pour La Réunion*

L'archipel des Comores, situé à l'entrée septentrionale du canal du Mozambique, à mi-chemin entre la pointe Nord de Madagascar et la côte est-africaine, regroupe du Sud-Est au Nord-Ouest quatre îles volcaniques : Mayotte (Maore en comorien), Anjouan (Nzwani), Moheli (Mwali) et la Grande Comore (Ngazidja). Cette dernière, la plus peuplée des quatre îles (363 200 habitants [CGP 2003]), est le siège de la capitale de l'Union des Comores, Moroni.

## 1.1. DES TERRITOIRES INSULAIRES FAÇONNES PAR LE VOLCANISME ET LE CLIMAT TROPICAL

### 1.1.1. Contexte géodynamique du Sud-Ouest de l'Océan Indien

L'île de La Réunion se situe dans le prolongement sud-ouest du plateau des Mascareignes, haut fond en forme de croissant s'étalant des Seychelles à Maurice, dominant des plaines abyssales profondes de 4000 mètres en moyenne. Les îles volcaniques de l'archipel comorien représentent quant à elles les parties émergées d'une ride sous-marine, de près de 280 km de longueur, qui domine des plaines abyssales profondes, en moyenne, de 3500 mètres [Bachèlery 1999 ; Savin 2001].

Flower et Strong [1969] ont souligné les difficultés qu'il y a à expliquer de façon satisfaisante le contexte tectonique de l'océan Indien occidental. Si la majorité des auteurs propose que ces deux alignements soient le résultat de points chauds, leur origine fait toutefois encore l'objet de discussions. Le volcanisme de l'ensemble Ride des Mascareignes-Maurice-La Réunion est le résultat du fonctionnement d'un point chaud asthénosphérique et du déplacement de la plaque Indienne vers le nord puis de la plaque Africaine vers le nord-est à une vitesse comprise entre 45 et 70 mm par an [Emerick et Duncan 1982]. L'activité initiale de ce point chaud correspond à la mise en place des « Trapps » du Deccan (à l'ouest de l'Inde), il y a 65 Ma [Courtillot *et al.* 1986]. Elle s'est poursuivie avec la formation de la ride Chagos-Laccadives (50 à 60 Ma), puis du Plateau des Mascareignes (30 à 40 Ma). Enfin, ce point chaud aurait engendré la mise en place de l'île Maurice (8 Ma) puis de La Réunion (5 Ma). Sur la base de datations K/Ar et de données relatives aux épaisseurs sédimentaires, Lytwyn et Burke [1995] et Burke [1996] proposent que le fonctionnement du point chaud a connu des interruptions et que La Réunion résulte du fonctionnement d'un panache mantellique récent qui lui serait propre.

Le cas des Comores est plus complexe. La plupart des auteurs proposent, d'après les résultats des données radiométriques, qu'il existe une migration des systèmes de faille régionaux et de l'activité volcanique du Sud-Est vers le Nord-Ouest [Strong 1972 ; Krafft 1983]. Les interprétations de ces résultats divergent cependant. Certains plaident pour le fonctionnement d'un point chaud actif ces 10 derniers millions d'années. Le développement croissant de récifs coralliens et l'intensification de l'érosion des massifs volcaniques vers l'Est (Mayotte est la plus ancienne des îles avec 3 à 4 millions d'années), alimentent cette hypothèse [Emerick et Duncan 1982 ; Krafft 1983 ; Bachèlery 1999]. D'autres auteurs privilégient l'hypothèse de la réactivation magmatique d'anciennes fractures lithosphériques dont la trace peut être retrouvée dans les failles ONO-ESE du nord de Madagascar [Nougier *et al.* 1986 ; Deniel 1998]. Une troisième hypothèse propose que la ride comorienne soit le résultat du fonctionnement lent d'un axe d'accrétion recoupé par des failles transformantes [Upton 1982].

### 1.1.2. Contexte climatique régional et influence orographique

#### ❖ *Des îles soumises au déplacement saisonnier de la Zone de Convergence Inter-Tropicale*

Les archipels des Comores et des Mascareignes connaissent un climat tropical humide à deux saisons, sous l'influence des alizés du Sud-Est ou de la mousson du Nord-Ouest en fonction du déplacement de la zone de convergence intertropicale. S'opposent ainsi (1) de novembre à avril, une saison cyclonique chaude et humide, l'été austral (avec aux Comores le *nyombeni*, vent de NE apportant les pluies fines de début de mousson, puis le *kashkazi*, vent dominant de NW); (2) de mai à octobre, une saison plus fraîche et moins humide marquée par les alizés : l'hiver austral. Ces alizés, de dominante Est-Sud-Est à La Réunion, et Sud-Ouest en Grande Comore où on les appelle *kusi*, déversent sur les îles l'eau cumulée lors de leur trajet au-dessus de l'océan. Ils sont parfois renforcés aux Comores par le *matulaï*, alizé de SE non

générateur de pluies, asséché par son passage sur Madagascar. Les vents ne se calment que brièvement à l'intersaison, ce qui implique une mer souvent houleuse, dangereuse pour les marins et pêcheurs [Guébourg 1995]. Ces régimes de circulation sont modifiés, voire inversés, en haute altitude (systèmes de contre-alizés), jouant sur la dispersion des panaches volcaniques qui atteignent des hauteurs de plusieurs milliers de mètres [Tulet et Villeneuve 2011].

Les vents locaux se traduisent par ailleurs par une alternance de brise de mer en journée et de brise de terre la nuit, renforcées par un effet de brise de pente sur les massifs volcaniques (phénomène pouvant avoir une forte incidence en cas d'émission de gaz volcanique, nous y reviendrons).

Les deux îles sont marquées par des précipitations abondantes, caractérisées par une grande variabilité saisonnière. Si la pluviométrie peut être élevée en hiver austral sous l'influence des alizés[46], elle l'est bien plus en été, atteignant parfois des seuils exceptionnels lors du passage des cyclones qui frappent à cette période. Des records mondiaux ont ainsi été atteints à La Réunion : par exemple 1144 mm en 12h à Foc-Foc durant le cyclone Denise en janvier 1966, ou 5678 mm en 9 jours à Commerson durant le cyclone Hyacinthe en janvier 1980 [Robert 1987] (cf. localisation Figure 4). La Grande Comore, du fait de sa situation relativement protégée dans le canal du Mozambique, échappe en revanche à de nombreuses perturbations (un cyclone tous les cinq ans en moyenne [Guébourg 1995], tous les 2 ans à La Réunion [BRGM 2008]). Des pluies violentes touchent toutefois l'île. Sur les hauteurs de Moroni, à Nyumbadju, il y a eu en moyenne 17 jours de précipitations comprises entre 50 et 100 mm et 15 jours de précipitations supérieures à 100 mm de 1962 à 1972 (moyenne sur 24h, Météo Moroni in Guébourg [1995]). En plus de leur variation temporelle et de leur intensité, ces précipitations sont en outre fortement différenciées sur le plan spatial.

#### ❖ *L'influence orographique des massifs volcaniques*

En raison de la présence de hauts reliefs sur chacune des îles, les conditions météorologiques sont marquées par une forte dissymétrie entre les versants. Les précipitations se concentrent principalement sur les *régions au vent*, directement exposées à l'humidité de la mousson et des alizés, et bloquées par les reliefs (côte Est à La Réunion, essentiellement de Saint-Philippe à Sainte-Rose ; côte Ouest en Grande Comore, essentiellement d'Itsandra à Dembeni). A l'inverse, les régions *sous le vent*, bénéficiant d'un effet de foehn, sont beaucoup plus sèches et marquées par un régime de brises prédominant (côte Ouest à La Réunion ; Est et Sud Est en Grande Comore de Shezani à Foumbouni).

A La Réunion, les moyennes pluviométriques annuelles sont comprises entre 0,5 et 2 m sur les versants sous le vent tandis que les versants au vent reçoivent entre 2 et 8 m de pluie. Plus de 11 mètres de pluie tombent ainsi annuellement sur les hauts de Sainte-Rose à La Réunion, tandis que Saint-Gilles les Bains n'en reçoit que 525 mm[47] [Robert 1987]. Les observations similaires opérées pour la Grande Comore revêtent une importance particulière depuis que des éruptions en 2005 ont produit une grande quantité de matériaux pyroclastiques remobilisables sur les pentes du Karthala, permettant la formation de coulées boueuses lors des événements pluvieux intenses. Le secteur côtier d'Itsandra à Dembeni, qui reçoit huit fois plus de pluies que le reste des côtes, est dès lors particulièrement exposé à ces événements.

A cet effet de façade s'ajoute une variabilité des précipitations en fonction de l'altitude (2695 mm de précipitations annuelles à Moroni, à 6 m d'altitude ; 5868 mm à Nyumbadju, à 460 m d'altitude sur le même

[46] A Moroni en Grande Comore : 1086 mm de mai à octobre, 1765 mm de novembre à avril (Météo Moroni, com. pers.).

[47] Chiffres qui s'expliquent également en partie par les variations altitudinales décrites dans la suite du paragraphe.

versant (données issues de Battistini et Vérin [1984]; Figure 4) ; jusqu'à 9000 mm en altitude au Karthala selon Savin [2001]. La température varie également selon ce critère : la moyenne des minima est de 18,8°C à Moroni tandis que les minimas absolus atteignent 0°C au sommet du Karthala[48] [Météo Moroni 2010]. Guébourg [1995] précise que le caractère montagneux de Ngazidja est responsable de plus de 50 microclimats locaux.

Les climats des deux îles sont caractérisés par les irrégularités spatio-temporelles des précipitations (qui sont fondamentales dans des archipels dont les économies reposent sur les cultures vivrières et spéculatives). Le contexte est ainsi propice à la survenue d'événements hydrologiques instantanés dommageables (crues rapides et lahars).

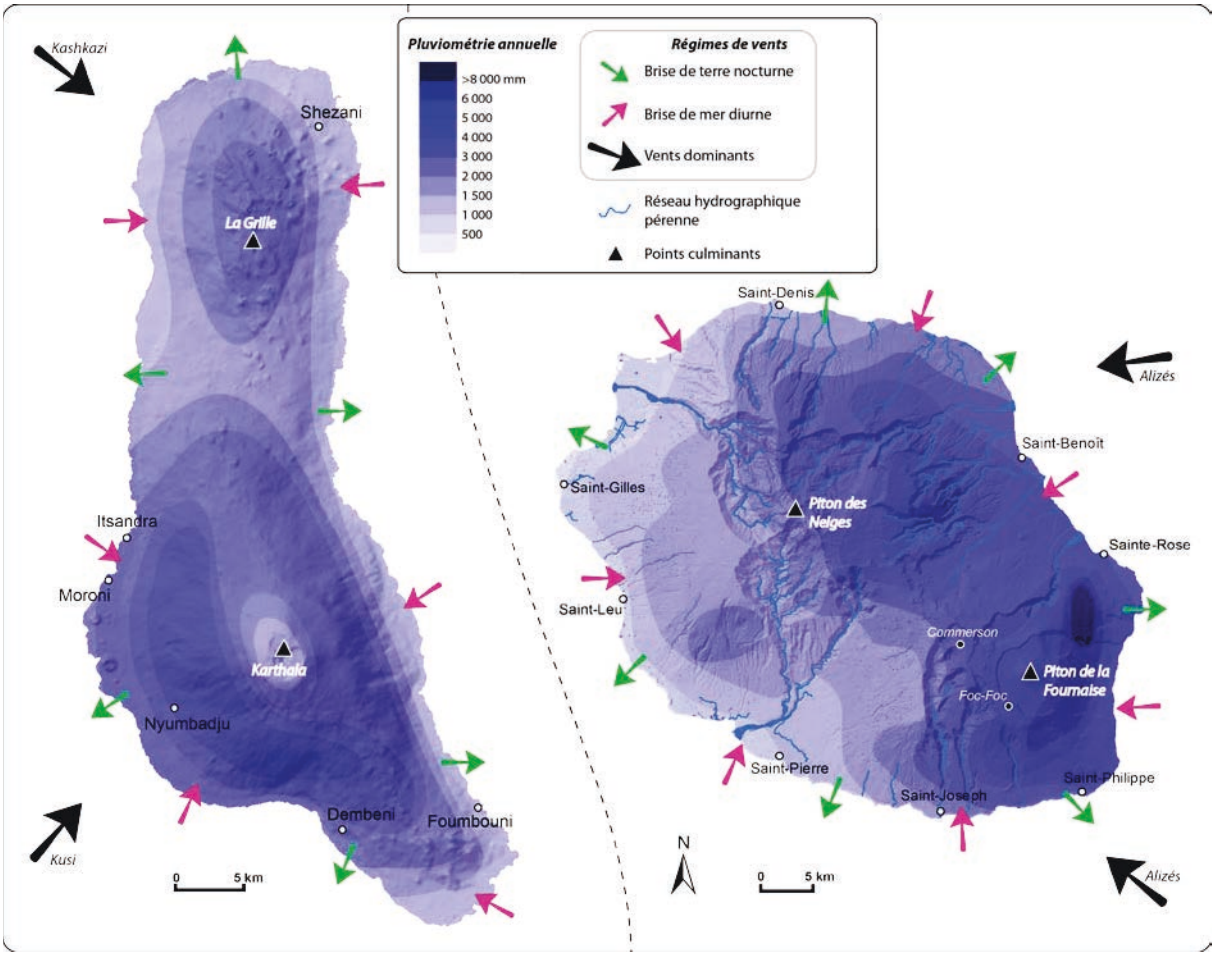



*Figure 4 - Cartes des isohyètes et régimes de vents de basse altitude de la Grande Comore et de La Réunion (isohyètes : période indéterminée, d'après Battistini et Vérin [1984] pour la Grande Comore ; période 1958-1980, d'après Raunet, 1991 pour La Réunion)*

### 1.1.3. Géomorphologie des îles et de leurs massifs volcaniques

Les actions combinées de la géodynamique et du climat ont contribué à façonner la morphologie des deux îles. Elles sont très semblables d'un point de vue structural, constituées chacune d'un massif volcanique en activité - dont la morphologie est typique des volcans boucliers[49] - localisé entre deux massifs volcaniques anciens. Elles se différencient en revanche fortement sur le plan morphologique par des formes d'érosion beaucoup plus marquées à La Réunion.

[48] Moyenne mensuelle établie à partir de données quotidiennes recueillies de 1960 à 2009.

[49] Avec une caldeira sommitale résultant de la coalescence de multiples unités d'effondrement, encadrée par des rift-zones où se concentrent la majorité des fissures éruptives, et de grands glissements de flancs dont on retrouve les traces à terre et en mer.

### ❖ *La Réunion et le Piton de la Fournaise*

De forme globalement elliptique (70 km NE-SW, 50 km NE-SW, pour une superficie à terre de 2512 km²), la portion émergée de La Réunion ne représente que 3% [Averous 1983 ; de Voogd *et al.* 1999] du volume total du système volcanique de 200 à 240 km de diamètre qui repose sur le plancher océanique à - 4000 m [Oehler *et al.* 2007]. L'île est composée de massifs volcaniques fortement érodés.

Le massif du Piton des Neiges occupe les deux tiers Nord-Ouest de l'île. Son activité aurait débuté il y a plus de 5 Ma [Smietana 2011] et aurait cessé il y a 12 000 ans [Deniel *et al.* 1989]. Les deux points culminants de l'île, le Piton des Neiges (3069 m) et le Gros Morne (2992 m) sont des vestiges de l'ancien sommet qui a été disséqué par l'érosion et les mouvements de masse. Il présente désormais trois larges excavations subcirculaires, coalescentes, profondes de plus de 1000 mètres, aux parois verticales appelées remparts : les cirques de Mafate (NW), Salazie (NE) et Cilaos (S).

Le massif du Piton de la Fournaise occupe quant à lui le tiers sud-est de l'île. Son activité a commencé il y a environ 450 000 ans [Gillot et Nativel 1989 ; Merle *et al.* 2010a ; Smietana 2011]. Il s'est édifié sur les pentes du Piton des Neiges à l'Ouest et sur les restes du volcan des Alizés à l'Est, proto-édifice aujourd'hui démantelé et masqué, globalement situé à l'aplomb du Grand Brûlé [Rançon *et al.* 1989 ; Bachèlery et Mairine 1990 ; Bachèlery et Lénat 1993 ; Malengreau *et al.* 1999 ; Lénat *et al.* 2001 ; Gailler *et al.* 2009 ; Smietana 2011]. Bachèlery et Mairine [1990] et Bachèlery et Lénat [1993], se basant sur l'existence d'une discontinuité majeure au sein des formations anciennes du Piton de la Fournaise, distinguent deux stades d'édification du massif : le Bouclier Ancien (de 0,5 à 0,15 Ma), et le Bouclier Récent (< 0,15 Ma) qui correspond globalement au volcan actuel et dont la mise en place s'est opérée dans des caldeiras emboîtées : Morne Langevin (≈ 0,15 Ma), Plaine des Sables (≈ 0,04 Ma) et Enclos Fouqué (≈ 0,005 Ma). L'Enclos Fouqué est une caldeira sommitale en fer à cheval, ouverte sur la mer, dont la formation serait attribuée à un mécanisme combiné d'effondrement et de glissement [Merle et Lénat 2003a][50]. Elle est délimitée au Nord par le rempart de Bois Blanc, au Sud par celui du Tremblet. Au centre de la partie sommitale de cette dépression, s'est édifié le cône principal actuel du Piton de la Fournaise, large de 3 km, haut de 400 m, qui culmine à 2631 m, avec des pentes moyennes de 15-20°. Son sommet abrite deux cratères principaux emboités : à l'est, le Dolomieu, cratère principal de 1,1 km E-W par 750 m N-S, profond de 350 m ; à l'ouest, le Bory, « pit crater » de 350 m par 200 m pour environ 10 m de profondeur, partiellement effondré dans le Dolomieu. Trois rift-zones convergent dans cette zone sommitale [Lénat et Bachèlery 1990] : une orientée vers Sainte-Rose au NE (N30°), une vers Saint-Philippe au SW (N130°), enfin une vers les Plaines des Cafres et des Palmistes au NW (N120°). Ces plaines constituent des champs de lave issus des éruptions d'une multitude de puys dont les produits ont partiellement recouvert l'ensellement des massifs des Pitons des Neiges et de la Fournaise, il y a quelques centaines à quelques dizaines de milliers d'années [Bachèlery 1981].

Les deux massifs sont largement érodés par des rivières qui les ont incisés sur plusieurs centaines de mètres de profondeur, et par un important réseau de ravines plus superficielles[51]. Cette forte érosion (3ème taux au monde avec environ 800 tonnes de terrains érodés à l'hectare chaque année [Raunet 1991]) est imputable au ruissellement intense engendré par les fortes précipitations et à la nature des formations

[50] Le débat reste vif sur ce point. Selon Lénat, Bachèlery, & Merle [soumis], l'origine des failles limitant l'Enclos et la Plaine des Sables et de celles présentes dans les Grandes Pentes reste discutée. Des failles liées à la formation d'une caldeira sont clairement identifiées dans la partie ancienne du Piton de la Fournaise [Merle *et al.* 2010b]. En revanche, la nature des failles en bordure d'Enclos et de Plaine des Sables (failles de glissement ou d'effondrement caldeirique) est encore discutée [Merle et Lénat 2003b ; Michon et Saint-Ange 2008 ; Bachèlery et Michon 2010].

[51] Sur les 750 ravines et rivières de l'île, seules une vingtaine ont un écoulement permanent au cours de l'année.

géologiques (fracturées, peu cohésives, altérées…).

L'activité récente du volcan s'est principalement cantonnée à des éruptions effusives dans la zone sommitale et le long des rift-zones NE et SE (rift-zones qui ne sont pas aussi productives que le sont celles du Karthala), et à quelques paroxysmes explosifs associés à une activité phréatique ou phréatomagmatique affectant les cratères sommitaux.

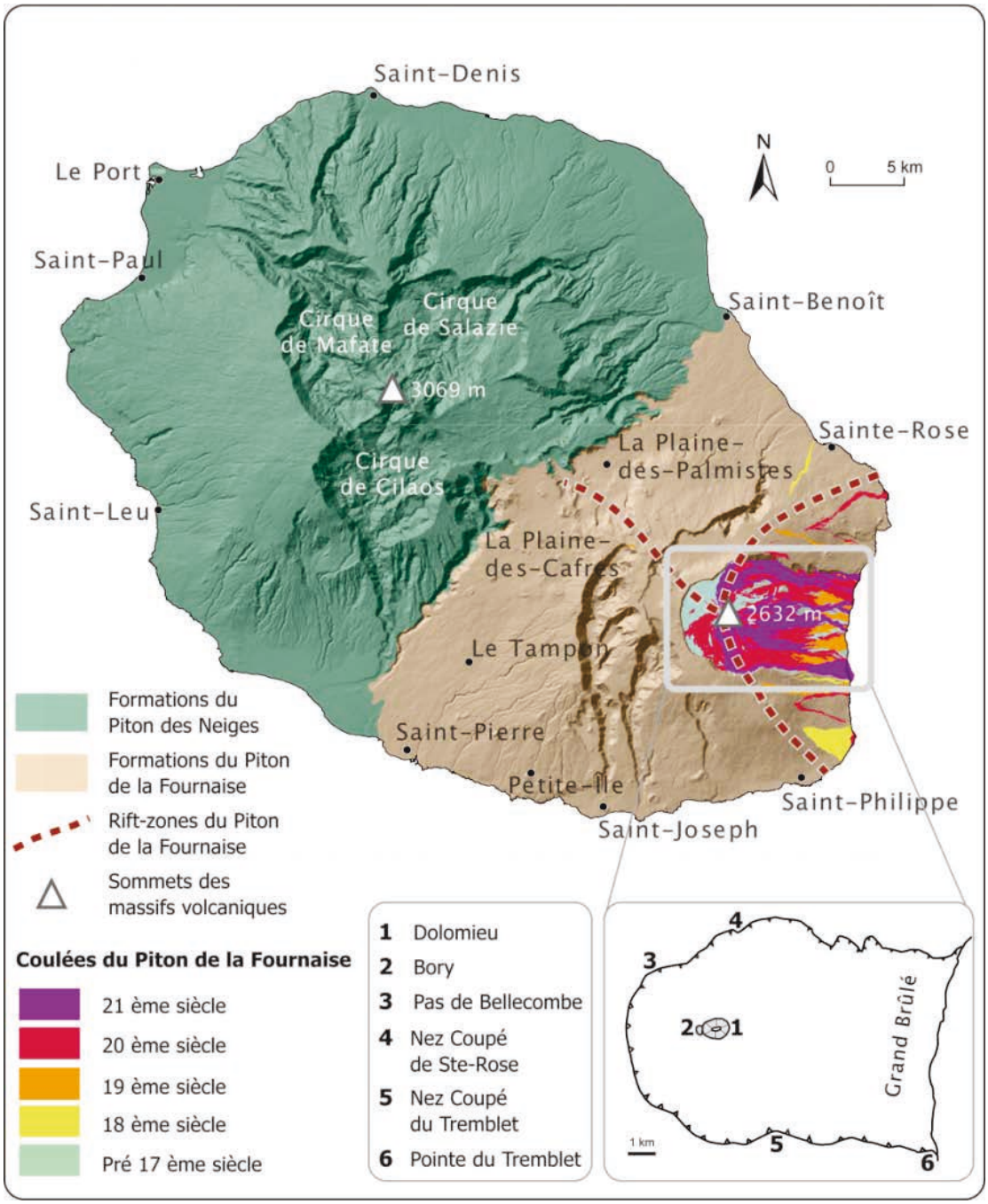



*Figure 5 - Carte morpho-structurale de La Réunion (fonds de carte IGN BD-Raster 2008 ; coulées d'après données de Servadio [2011] ; rift-zones d'après Bachèlery & Mairine, 2006)*

### ❖ *La Grande Comore et le Karthala*

La Grande Comore est la plus grande (65 km N-S, 25 km E-W, 1024 km²) et la plus haute (2361 m d'altitude) des îles de l'archipel des Comores. Sa morphologie montre qu'elle est également la plus jeune [Savin *et al.* 2005]. Elle est en effet constituée de massifs volcaniques très peu érodés.

Au Nord, La Grille, composé de plusieurs cônes monogéniques, culmine à 1087 m. La Grille est entré en

éruption plusieurs fois ces derniers millénaires, probablement avec une fréquence centennale ou millénale, et une nouvelle éruption ne peut pas être exclue considérant l'âge relativement récent des précédentes éruptions (1300+65, 740+130, et 625+130 B.P.) mais sa probabilité est très faible [Bachèlery et Coudray 1993 ; Class *et al.* 1998].

A l'extrémité sud-est, le Badjini est un massif plus ancien, densément fracturé et altéré, considéré comme appartenant au Karthala ancien [Bachèlery et Coudray 1993 ; Bachèlery 1999].

Enfin, occupant les deux tiers méridionaux de l'île, le massif du Karthala est le seul volcan actif à l'heure actuelle. Il s'agit d'un volcan bouclier basaltique de type hawaiien haut de 2361 m, dont le diamètre au niveau de la mer avoisine 30 km [Strong 1972]. Ses pentes, en moyenne de 20%, varient de 12% au nord à 30% au sud. Sur les flancs méridionaux et orientaux, ces fortes pentes, associées à des morphologies concaves, sont interprétées comme les têtes de glissement de larges glissements de flancs, typiques des volcans-boucliers hawaiiens [Bachèlery 1999].

Les principaux traits structuraux du Karthala sont liés à l'existence de deux rifts zones, diamétralement opposées de part et d'autre d'une caldeira sommitale [de Saint-Ours 1958 ; Esson *et al.* 1970 ; Strong et Jacquot 1970 ; Upton 1982 ; Savin *et al.* 2001], (Figure 6). Cette caldeira elliptique mesure 3,5 km dans son axe N-S pour 2,8 km dans son axe E-O. Sa structure polylobée, en forme de trèfle, est due à une série d'effondrements qui ont eu lieu au cours de son histoire éruptive préhistorique [Lacroix 1920 ; Pavlovsky et Saint-Ours 1953 ; Strong et Jacquot 1970]. Ses murs, subverticaux à verticaux, mesurent une centaine de mètres de hauteur, mis à part au niveau de la Porte d'Itsandra, échancrure qui forme une ouverture vers le Nord [Strong et Jacquot 1970], échappatoire potentielle pour les coulées de lave générées dans la caldeira.

Le centre de la caldeira est occupé par un cratère d'environ 1,4 par 0,8 km de diamètre pour 290 m de profondeur appelé Choungou Chahale (« cratère ancien ») [Savin *et al.* 2001]. Un pit-crater, le Choungou Chagnoumeni, (« cratère nouveau ») occupe le lobe nord de la caldeira. Initialement profond de 150 mètres, il a progressivement été complètement comblé par les laves.

Des cônes adventifs, moins fréquents au Karthala qu'à la Grille, se sont principalement mis en place selon et autour des rifts zones sur les pentes septentrionales et méridionales du Karthala [Strong 1972]. Ces rifts zones (orientées N-S au Nord, et NO-SE au Sud) sont des structures à prendre très sérieusement en considération dans l'étude du risque volcanique car elles favorisent l'ouverture de fissures et l'épanchement de coulées loin du cratère, dans des zones où sont concentrées les activités humaines. Elles ont été le siège de la grande majorité des éruptions durant la période historique [Bachèlery et Coudray 1993]. Des événements excentriques peuvent également se produire, comme en avril 1977 sur le flanc SSO. Du fait de leur proximité aux zones habitées, ils représentent une menace décisive pour les enjeux.

Contrairement aux croyances populaires exprimées en Grande Comore (et beaucoup plus rarement à La Réunion), l'activité du Piton de la Fournaise et celle du Karthala ne sont pas liées l'une à l'autre. Ils produisent en revanche des dynamismes éruptifs (et aléas associés) très similaires, caractéristiques des volcans boucliers. Le risque s'exprime pourtant différemment sur les territoires réunionnais et comorien, notamment en raison de vulnérabilités très différenciées.

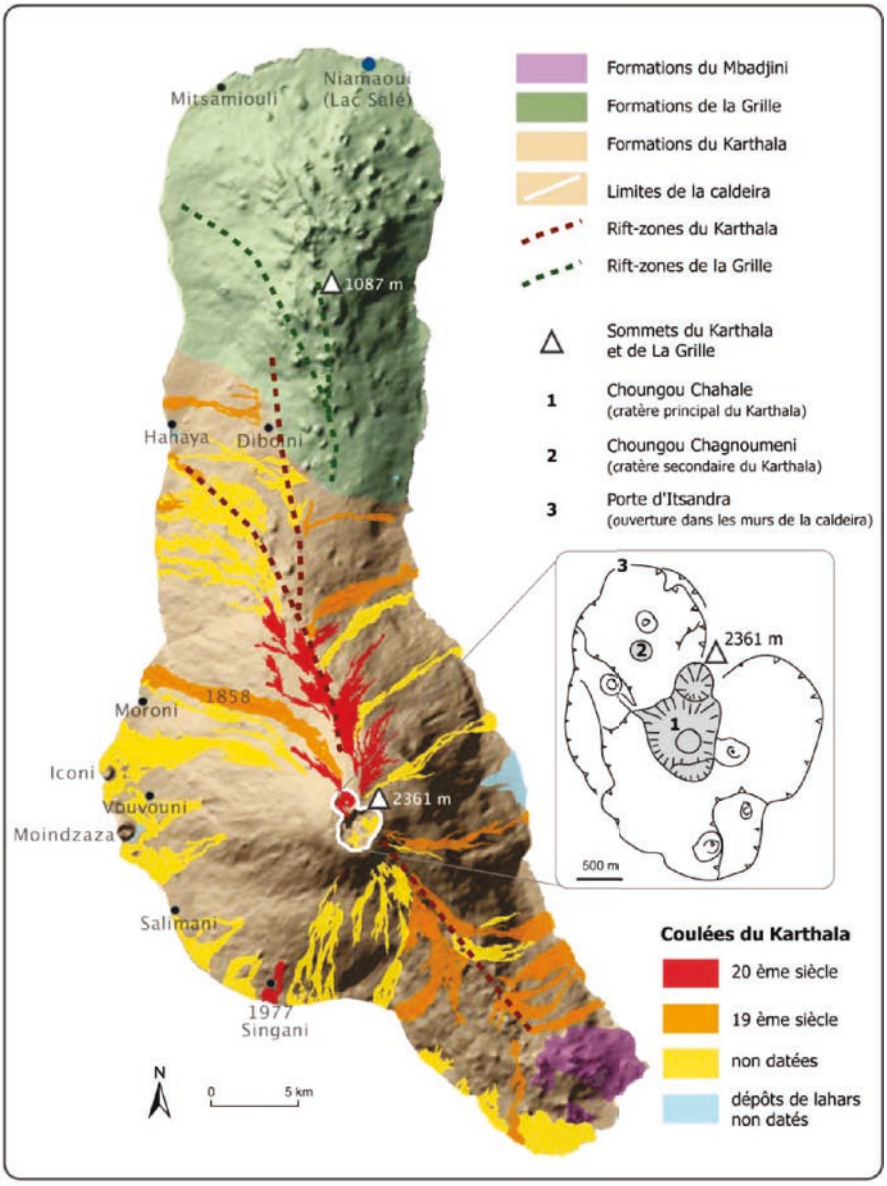



*Figure 6 - Principales unités structurales de Grande Comore (modifié d'après Bachèlery et Coudray [1993] ; fonds : MNT SRTM 90 ; coulées d'après données Nassor [2001])*

## 1.2. DES SOCIETES VULNERABLES ESSENTIELLEMENT CONCENTREES SUR LES FRANGES LITTORALES

La présentation de l'ensemble des caractéristiques (historiques, politiques, géopolitiques, démographiques, sociales, culturelles, d'aménagement du territoire, etc.) est nécessaire pour comprendre la problématique des capacités de réponse des sociétés face aux crises volcaniques développée dans cette thèse.

### 1.2.1. Les grandes phases de peuplement et de mise en valeur des îles

#### ❖ *La Réunion, une île économiquement dépendante de la métropole*

- **Du statut d'escale commerciale à celui de département**

Située à l'écart de la route commerciale des Indes, La Réunion (bien que découverte par les Arabes dès le Moyen-âge) n'est repérée par les navigateurs européens que vers 1500. Les Français en prennent possession au nom du roi en 1642 en la baptisant île Bourbon, pour en faire une escale de la Compagnie des Indes Orientales. Ils ne la colonisent réellement qu'à partir de 1663, accompagnés de serviteurs malgaches, s'implantant essentiellement à Saint-Paul, Saint-Denis, Sainte-Suzanne et Saint-André [Collectif 2000]. A partir de 1715, la culture du café transforme Bourbon en une véritable colonie de

plantation, utilisant des esclaves en provenance principalement de Madagascar et d'Afrique de l'Ouest. Certains d'entre eux, les *Marrons*, fuient dans les cirques et dans les Hauts, investis plus tard par des populations de *Petits-Blancs* pauvres. En 1793, l'île est rebaptisée *île de la Réunion* suite à la chute de la dynastie royale, puis *île Bonaparte* en 1806 sous le Premier Empire, époque à laquelle elle passe sous contrôle britannique de 1810 à 1814. Avant de retrouver son nom définitif, elle est à nouveau appelée *île Bourbon* sous la Restauration. La canne à sucre, plus résistante aux aléas climatiques, supplante le café et les épices au début du XIXème siècle. Les flancs sont cultivés jusque vers 1000 m d'altitude. L'île devient par ailleurs le premier exportateur mondial de vanille grâce à la découverte d'Albius en 1841, et développe en parallèle la culture du géranium. En 1830, la colonie compte 70 000 esclaves [Gerbeau 2002]. L'abolition de l'esclavage, officialisée le 20 décembre 1848, marque le début du métissage des populations de l'île [Vaxelaire 2009b]. Jusqu'en 1930, les exploitants se tournent alors vers des travailleurs engagés pour l'essentiel Indiens, puis Chinois qui fuient les incursions japonaises. La Réunion bénéficie favorablement de la première guerre mondiale car les champs betteraviers soumis aux combats sont inexploitables. Dans l'entre-deux guerres le creusement du Canal de Suez et le développement de la betterave en Europe affaiblissent l'économie réunionnaise. Cette crise s'aggrave avec la cessation des approvisionnements durant la seconde guerre mondiale [Vaxelaire 2009a]. A partir de 1946, la départementalisation permet des avancées administratives, sanitaires et sociales majeures, que complète le statut de région ultrapériphérique de l'Union Européenne obtenu en 1997 [CREGUR 2003].

- **Une économie dynamique et fragile**

L'économie réunionnaise, historiquement basée sur la production de canne à sucre, s'est tournée après-guerre vers le secteur tertiaire qui génère aujourd'hui 85% des emplois et de la valeur ajoutée (dans l'agroalimentaire, le BTP et surtout le tourisme). Le tourisme constitue la première ressource économique de l'île avec 500 000 visiteurs chaque année. Concurrencée par d'autres destinations balnéaires, *l'île intense* se tourne actuellement vers un tourisme sportif de pleine nature, avec pour enjeux les *pitons, cirques et remparts* qui lui ont valu d'entrer au Patrimoine Mondial de l'UNESCO en 2010. Le Parc Naturel Régional de La Réunion veille en parallèle à la protection de cette nature qui héberge de nombreuses espèces endémiques.

L'agriculture occupe 10% des actifs, génère plus de 15 000 emplois sur l'île, et constitue le premier poste d'exportation grâce au sucre de canne. Il apporte le tiers de la valeur ajoutée agricole aux côtés des cultures vivrières et de l'élevage qui couvrent 60% en moyenne de la consommation locale. La pêche est également insuffisamment développée pour couvrir la demande. Le secteur industriel, tourné vers les besoins du marché intérieur, reste lui aussi embryonnaire.

De 2002 à 2007, la croissance du PIB a progressé de 4 à 5%, soit deux fois plus qu'en métropole, notamment grâce à la forte consommation intérieure. Cette consommation fait de La Réunion un importateur très important en produits pétroliers, équipements et biens intermédiaires. L'économie de l'île est donc dynamique mais fragile car fortement dépendante de la métropole et ouverte sur un environnement où les coûts de production sont parmi les plus bas au monde [CREGUR 2003].

### ❖ *Les Comores, îles instables sur les plans politique et économique*

- **Une instabilité politique séculaire**

Les Bantous semblent avoir été les premiers, au VI$^{ème}$ siècle, à peupler les *îles de la Lune*, y mettant en place une organisation politique et sociale de type africain. Les premières communautés musulmanes apparaissent au IX$^{ème}$ siècle, sous l'influence de marchands d'origine arabo-persane. Les lignées princières

fondent alors les premiers sultanats, au contact desquels des élites comoriennes s'islamisent progressivement. Jusqu'au XIX$^{ème}$ siècle l'islam reste toutefois élitiste et étranger à la majorité de la population, constituée d'esclaves [Blanchy 2005]. Les Sultans, secondés par des vizirs, nomment notamment les chefs de village, mais la superposition de coutumes africaines et arabo-musulmanes limite leur pouvoir de contrôle. Cette absence de pouvoir central favorise les raids malgaches jusqu'au XVIII$^{ème}$ siècle. Les divisions internes et la menace malgache permettent alors aux puissances coloniales européennes de s'imposer, intéressées par l'opportunité du développement de plantations et par la localisation stratégique dans le Canal du Mozambique. Mayotte devient ainsi protectorat français en 1841, puis Anjouan en 1866, et la Grande Comore et Mohéli en 1886. Après avoir été rattachées un temps à Madagascar, les Comores obtiennent en 1946 leur autonomie administrative, puis le statut de TOM en 1958. Mais les idéologies indépendantistes défendues par certains intellectuels débouchent sur l'organisation d'un référendum en décembre 1974, au cours duquel Mayotte s'oppose à l'indépendance. La République Fédérale Islamique des Comores se déclare unilatéralement indépendante le 6 juillet 1975. Elle se réclame depuis légitimement de sa souveraineté sur Mayotte, qui a renouvelé sa volonté de rester française par un nouveau référendum en 1976. L'île est devenue département français en 2011 alors que l'assemblée générale de l'ONU condamne régulièrement la France pour son occupation qui porte atteinte à l'intégrité territoriale de l'archipel en dépit des règles du droit international.

Il n'y a eu depuis l'indépendance aucune stabilité politique favorable au développement socio-économique, le pays ayant été marqué par des coups d'Etat et des crises majeures, notamment les tentatives de sécession d'Anjouan et Moheli en 1997. Ces conflits séparatistes ont conditionné la mise en place, en 2001, d'un nouveau cadre institutionnel pour garantir l'unité et l'intégrité du pays, désormais appelé Union des Comores. Au sein de cette République, chaque île dispose de ses propres institutions et constitution. Tous les quatre ans, au moment des élections présidentielles, le pouvoir central change d'île. Ce système complexe est contesté car coûteux alors que le pays est dans une situation économique critique. Les gouvernements des trois îles autonomes contestent par ailleurs leur niveau d'autonomie tandis que l'Union essaie de maintenir une cohésion politique nationale à travers une gouvernance fédérale [Oraison 2004]. En conséquence, les tensions politiques restent notables et Anjouan a tenté une nouvelle fois sans succès une sécession à partir de 2007, entrainant une intervention armée des troupes internationales sur le territoire en 2008. La Constitution est à nouveau modifiée à l'initiative du Président Sambi en mai 2009, instituant un gouvernement unique de l'Union secondé par des gouverneurs sur chaque île. Cette politique marque l'émergence d'un nouveau conflit entre les gouvernements de la Grande Comore et de l'Union. La faiblesse de l'Etat alimente une crise socio-économique profonde et durable.

- **Un pays sous perfusion économique**

L'économie comorienne, peu diversifiée et peu compétitive, repose sur un secteur agricole peu productif, qui représente 45% du PIB, emploie 70 % de la population, et fournit 90% des recettes à l'exportation. La vanille, les clous de girofle et l'ylang-ylang constituent 98% des exportations ; leur soumission aux variations des taux sur les marchés internationaux fragilise l'économie comorienne. La production vivrière, pratiquée avec des techniques agricoles anciennes et inadaptées, occasionne des dégâts considérables à l'environnement pour une faible productivité. Le secteur industriel reste embryonnaire (12% du PIB) car les coûts de transport, la faiblesse du marché intérieur, et surtout l'instabilité politique découragent les investisseurs [Oraison 2004]. Notons toutefois que depuis quelques années, Comores Gulf Holding (société libanaise) et la Chine se positionnent sur des grands projets et investissements dans le pays. En conséquence, les Comores recourent à l'importation massive des principales denrées alimentaires qui, avec les produits pétroliers, épuisent les richesses nationales en devises. Le tertiaire (43% du PIB) est ainsi

largement dominé par le commerce des produits importés, et marqué par une absence de capacité d'accueil touristique. La dette extérieure représente 68% du PIB, et les arriérés de salaire des agents de la fonction publique (en moyenne 8 mois en 2009) pèsent sur la dette intérieure. Les Comores sont ainsi dans une situation de dépendance vis-à-vis de l'extérieur et les plans d'ajustement structurel imposés par les bailleurs de fonds internationaux ces deux dernières décennies ont été suivis d'un accroissement sensible de la pauvreté. Plus de 60% de la population vit sous le seuil de pauvreté [CGP 2003 ; Union des Comores et PNUD 2005 ; UNDP 2007 ; World Bank Group 2007].

L'émigration constitue une solution unique pour beaucoup d'habitants. Certains tentent de rejoindre clandestinement Mayotte dans des embarcations précaires (les kwassa kwassa) qui chavirent régulièrement. On compte en moyenne 200 morts en mer par an. Les communautés expatriées regroupent 200 000 habitants en France métropolitaine (en particulier à Marseille et Paris), à Mayotte et à La Réunion [da Cruz *et al.* 2004]. Elles envoient de grosses sommes d'argent aux Comores, totalisant 40 millions d'euros [MAEE 2007] à plus de 70 millions par an [Union des Comores et Nations Unies 2005]; ce qui constitue une impulsion économique majeure pour la Grande Comore.

Le Produit National Brut compte parmi les plus faibles au monde (seulement 520 $ par habitant), de même que l'Indice de Développement Humain.

### 1.2.2. Les héritages socio-économiques et culturels des grandes phases de peuplement

#### ❖ *Une population réunionnaise métissée en pleine croissance*

- **L'explosion démographique à l'horizon 2030**

La Réunion, qui compte aujourd'hui plus de 800 000 habitants, connaît une forte croissance démographique avec un rythme de progression annuel supérieur à 1,5% sur la période 1999 à 2006 (contre 0,6% en métropole). Elle devrait atteindre le million d'habitants vers 2030, à l'achèvement de sa transition démographique, soit un accroissement démographique de 25% en 20 ans [Conseil Régional de La Réunion 2010]. La population est jeune avec 41% de moins de 25 ans [INSEE 2011].

- **La Réunion, île de métissage**

L'identité réunionnaise est marquée par une diversité culturelle et communautaire héritée des phases de peuplement successives de l'île. Les Cafres (populations chrétiennes d'origine africaine), les Zarabes et les Malbars (musulmans et hindouistes venus d'Inde), les Chinois (catholiques et bouddhistes) et les Zoreil (Européens chrétiens) se côtoient et se sont mélangés pour former une population créole métissée, réunie par la langue créole réunionnaise.

- **Un accès aux ressources inégal mais garanti même pour les plus précaires**

Si l'accès au statut de département a permis l'émergence économique de La Réunion, il n'a pas résolu tous les problèmes : 27% de la population active est au chômage, plus du tiers de la population bénéficie des prestations de solidarité comme le Revenu de Solidarité Active. En contrepartie, la départementalisation a eu pour conséquence une augmentation importante du nombre de fonctionnaires bien rémunérés qui ont permis de redynamiser l'économie locale.

L'ensemble de la population a accès aux ressources essentielles comme l'eau, l'électricité, les transports, même si certains secteurs restent parfois inaprovisionnés ou isolés notamment après le passage des cyclones. Le département compte 10 à 12% de logement insalubre [Letchimy 2011]. L'accès aux soins (gratuits pour les plus pauvres) et à l'éducation sont généralisés. L'île bénéficie d'ailleurs d'une jeunesse de mieux en mieux formée.

### ❖ *Une société comorienne marquée par une démographie et une pauvreté galopantes*[52]

- **L'explosion démographique à l'horizon 2025**

La population de la Grande Comore est estimée à 296 177 habitants au recensement de 2003 (contre 575 660 pour l'Union). Cette population est caractérisée par une extrême jeunesse (57 % de moins de 20 ans) une espérance de vie de 63 ans en 2002, et une croissance démographique élevée (actuellement de 2.7%). Le RGP de 2003 [CGP 2003] prévoit 520 668 habitants en Grande Comore en 2025, soit un accroissement démographique de 40% en 20 ans.

- **Une organisation sociale régie par la coutume et l'Islam**

La société comorienne, que ce soit en milieu rural ou urbain, est organisée autour du noyau familial qui est la base de l'identification de l'individu. La structure sociale au niveau du village ou du quartier, est en outre dominée par les notables et les chefs coutumiers qui ont un rôle important dans les décisions à prendre au niveau local. L'accès au statut de notable se réalise au travers du Grand Mariage, une cérémonie qui consiste en un échange de présents très couteux entre les familles des mariés, et la réalisation de fêtes pour un village entier (Figure 7). Les sommes engagées dépassent souvent 20 000 euros. La domination officielle des hommes est mise à l'épreuve de celle, officieuse, des femmes, dans cette société matriarcale. Les mouvements associatifs tendent également à se développer et à s'impliquer davantage dans le fonctionnement et le développement des villages depuis les années 1990. La vie est rythmée par l'appartenance à un islam sunnite modéré : 99% de la population est musulmane [Union des Comores 2004b].

*Figure 7 - Le Grand Mariage exprime tout le poids des traditions et l'importance du tissu social (Bambao, 2006)*

- **Un accès extrêmement précaire aux ressources**

Les ménages sont composés d'en moyenne 5.8 personnes, qui vivent essentiellement de l'agriculture de subsistance. Seulement 20% de la nourriture produite localement est vendue, ce qui rend l'accès aux liquidités difficile pour les agriculteurs. En compensation, la plupart possèdent des pieds de vanille qui génèrent des revenus cash une fois par an lors de la vente aux exportateurs [Guébourg 1995]. Les statistiques indiquent que chaque travailleur supporte le poids de 3.4 personnes inactives ou au chômage. Dans de telles circonstances, le manque d'épargne empêche souvent les gens de se prémunir et prendre des mesures pour réduire leur vulnérabilité face aux aléas naturels. 10% des ménages vivent dans des maisons de fortune (murs en pisé, toit en paille, sol en terre battue), qui sont structurellement fragiles. Seulement 53.6% des ménages ont accès à l'électricité, de sorte que le bois reste la principale source d'énergie pour cuisiner et que l'éclairage à la lampe à pétrole entraine de nombreux incendies. L'eau

[52] Nous ne disposons pas de données spatialisées pour la Grande Comore, les chiffres énoncés concernent le pays dans son ensemble.

courante à domicile ou dans le voisinage n'est accessible que par 19% de la population. Les autres accèdent à l'eau à travers des citernes privées (57%, Figure 8), des fontaines publiques (22%), et les rivières (0.2%) [Morin 2006].

*Figure 8 - Citerne à ciel ouvert sur le toit d'une habitation dans un village du Bambao en 2006*

56% des enfants contribuent aux tâches domestiques et travaillent au moins trois heures par jour. Ils suivent d'abord l'école dans des medersas, puis rejoignent l'école publique avec un enseignement en français jusqu'au baccalauréat. En 2009, 74% des candidats ont échoué à cet examen. Avec la création d'une université en 2000 à Moroni, les étudiants bénéficient désormais d'une formation sur l'île jusqu'à bac +3. Le taux d'illettrisme est toutefois étendu (43.5% des adultes de plus de 15 ans). Les perspectives d'emploi sont très réduites et l'argent envoyé par la diaspora parfois investi dans des petites affaires : l'achat d'une voiture pour en faire un taxi, l'ouverture d'un bouiboui…

Les standards se santé sont extrêmement pauvres, 22.2% des enfants souffrent de malnutrition. Les personnels médicaux, souvent formés à l'étranger, sont réfractaires lorsqu'il s'agit de revenir aux Comores en raison des conditions de travail pauvres. La malaria et le choléra sont endémiques. 23% des femmes enceintes ont déjà donné naissance à au moins un enfant mort-né (44.2% en zone rurale). Les frais d'hospitalisation pour une nuit s'élèvent à 100 euros, soit le salaire moyen mensuel d'un enseignant.

### 1.2.3. Une organisation territoriale marquée par de forts contrastes

La Réunion est un territoire de 2504 km$^2$ découpé en 24 communes (Figure 3) gérées par 5 communautés de communes. La préfecture, dionysienne, est secondée par les trois sous-préfectures de Saint-Pierre, Saint-Benoît et Saint-Paul. La Grande Comore (1148 km$^2$) est divisée depuis juillet 2011 en 28 communes regroupées en 8 préfectures (Figure 3). La superficie de l'Union (1862 km$^2$) en fait le 22$^{ème}$ plus petit état insulaire au monde [Taglioni 2003].

Les facteurs historiques, politiques, et socio-économiques décrits précédemment ont contribué à façonner une organisation territoriale marquée sur les deux îles par de fortes disparités Hauts/Bas, littoraux/intérieur, zones urbaines/rurales, zones connectées/enclavées. Guébourg [1995] sur la Grande Comore, l'Atlas de La Réunion [CREGUR 2003] et le Schéma d'Aménagement Régional (SAR) de La Réunion [Conseil Régional de La Réunion 2010] décrivent remarquablement bien l'organisation territoriale des deux îles.

#### ❖ *Des dissymétries Bas/Hauts et Est/Ouest dans la répartition des populations, activités et services*

Les hommes ont naturellement développé leurs activités sur les franges littorales étroites, plus accessibles, délaissant les *Hauts* inhospitaliers. A La Réunion, les Marrons fuyant vers les Hauts ont tout de même permis l'existence de quelques *ilets* de peuplement dans les cirques et plaines d'altitude auxquels ils ont

donné leurs noms : Mafate, Cilaos, Plaine des Cafres. Sur les deux îles, des espaces littoraux fortement urbanisés s'opposent donc à des espaces ruraux souvent marginalisés mais progressivement gagnés par le mitage urbain, et à des Hauts peu peuplés.

A La Réunion la densité moyenne de population est de 322 habitants au $km^2$, concentrés essentiellement dans quelques grandes agglomérations. Seule la commune du Tampon avec ses 72 000 habitants fait figure d'exception, tous les autres grands pôles urbains se trouvant en bord de mer. Une forte dissymétrie Est/Ouest est également notable. Le quart de la population réunionnaise est recensée à Saint-Denis et Saint-Paul, alors que Sainte-Rose, Saint-Philippe et La-Plaine-des-Palmistes ne concentrent par exemple à elles trois qu'environ 17 000 habitants. Selon le SAR, le parc d'équipements scolaires, sportifs et de santé est satisfaisant même si dans certains cas, les mi-pentes, les Hauts et d'une façon générale les quartiers ruraux souffrent encore d'un sous-équipement. Les cartes sur les activités économiques, pôles urbains, déplacements routiers (etc.) dans l'île, présentées dans le SAR et l'Atlas de La Réunion [CREGUR 2003], révèlent toutes un fort isolement de l'Est réunionnais (communes de Sainte-Rose, Saint-Philippe, La-Plaine-des-Palmistes).

En Grande Comore, la densité moyenne est de 300 habitants par $km^2$, mais la distribution est très inégale d'une région à l'autre. Plus de la moitié de la population est concentrée sur une étroite bande côtière, prolongée par un réseau de villages vers 400 m d'altitude. Une caractéristique urbaine majeure en Grande Comore est la macrocéphalie de la capitale, Moroni, qui concentre 20% de la population [Gérard 2009] et l'essentiel des enjeux majeurs (activités économiques, hôpital, bâtiments administratifs, centrale électrique, réserves d'hydrocarbures, etc. - Figure 9). En l'absence de plan d'aménagement l'urbanisation de l'île est explosive et anarchique, sans équipement collectif. En dehors de l'éducation, les services de base sont inaccessibles à une grande partie de la population. L'exemple le plus symptomatique est celui de la couverture sanitaire sur l'île : un médecin pour 30 000 habitants [Union des Comores 2007].

*Figure 9 - Un peuplement concentré sur les franges littorales. A) Urbanisation du littoral Ouest de La Réunion dominé par la route des Tamarins en 2009 ; B) forte concentration d'enjeux en 2008 à Moroni*

Sur les deux îles des efforts sont faits depuis quelques années pour valoriser les espaces en marge, principalement grâce au développement des activités touristiques de pleine nature. Les massifs volcaniques sont à ce titre devenus des enjeux centraux des projets de développement. Encore au stade de développement en Grande Comore, cette politique se traduit à La Réunion par l'aménagement des sentiers de randonnée et d'une route des Laves traversant le Grand Brûlé de Saint-Philippe à Sainte-Rose.

### ❖ *Une faible connexité des réseaux*

- **Des réseaux réunionnais offrant une bonne couverture mais une faible connexité**

Le SAR décrit un réseau routier reposant sur « *une boucle de voiries primaires, dont la route des Tamarins constitue le dernier tronçon aménagé en 2009, et des réseaux locaux peu connectés les uns aux autres* ». Certaines zones des Hauts demeurent aujourd'hui enclavées. Le franchissement des ravines occasionne de longs détours ou la construction d'ouvrages d'arts complexes et coûteux, et de nombreux radiers sont submergés lors des fortes pluies, ce qui constitue une source importante de vulnérabilité des échanges. L'effondrement du pont de la rivière Saint-Etienne lors du passage du cyclone Gamède en 2007 l'a bien démontré en isolant durablement le sud de l'île. Ce réseau routier est par ailleurs saturé par les véhicules particuliers (300 000 en 2004).

L'île dispose de deux aéroports à Sainte-Marie et Saint-Pierre, permettant d'accueillir les vols internationaux. Les prix de la desserte aérienne constituent un frein à la mobilité que le Conseil régional tente périodiquement de résoudre grâce à des aides spécifiques.

Le port artificiel de la Pointe des Galets est unique en son genre dans la mesure où il assure les fonctions maritime, commerciale, navale, de pêche et de plaisance. Il se situe toutefois à l'écart des grandes voies maritimes internationales et est concurrencé par les pays de la zone [Taglioni 2003].

Les réseaux de télécommunication couvrent la totalité de l'île. Le réseau électrique est globalement bien conçu mais certaines zones (Cilaos, Salazie, Saint-Philippe, Sainte-Rose) sont qualifiées dans le SAR de *péninsules électriques*. Le document précise que la faible connexité des réseaux est de nature à entraîner des coupures pouvant étendre les conséquences d'une catastrophe et pénaliser le fonctionnement des secours. Le réseau d'eau potable couvre l'ensemble de la population. Pour répartir les ressources entre Est et Ouest de l'île, un projet d'irrigation dit de basculement des eaux a été réalisé à partir des années 1980.

- **Des réseaux grand-comoriens vétustes, coûteux et parcellaires**

Le réseau routier, élément décisif dans l'optique d'une évacuation des populations en cas d'événement grave, est constitué de 553 km de routes bitumées très dégradées et étroites, auxquelles s'ajoutent 240 km de pistes de terre impraticables une partie de l'année. Les populations se déplacent en taxis peu entretenus et surchargés, source d'accidents de la circulation.

L'Aéroport International Moroni Prince Saïd Ibrahim (AIMPSI) est implanté sur les tunnels de la coulée volcanique de 1859, à Hahaya, à 21 km au nord de Moroni. Le bout de piste est délabré. L'aéroport est accessible par une unique route à deux voies. L'atteinte de l'aéroport compliquerait l'organisation des opérations de secours venant de l'extérieur en cas de catastrophe. Un second aéroport, à Iconi, n'est pas dimensionné pour accueillir des avions de ligne internationaux, et se trouve dans un état de délabrement avancé.

Le port de Moroni n'est pas suffisamment profond pour accueillir des bateaux de gros tonnage, qui doivent mouiller au large et être chargés et déchargés par de plus petits bateaux, les boutres. Les navires hésitent à s'arrêter en Grande Comore car cette procédure est coûteuse, et dangereuse, tout particulièrement en saison cyclonique. Or le port, le seul opérationnel en Grande Comore, constitue le point névralgique de l'économie de l'île. Sa paralysie entrainerait celle de son économie et une pénurie en denrées de première nécessité, étant donné que la plupart, sinon la totalité des produits sont importés par voie maritime. L'essentiel du trafic inter-îles se fait par ailleurs par voie maritime.

Les réseaux téléphoniques et radiophoniques sont saturés et totalement inaccessibles dans une partie du

sud et de l'est de l'île. Le réseau électrique, vétuste et d'un coût d'entretien élevé, est alimenté par une centrale thermique fonctionnant au fuel et marqué par des coupures quotidiennes. Compte-tenu des problèmes d'accès à l'électricité, le bois de chauffe et l'éclairage à la bougie sont responsables de très nombreux incendies urbains [Union des Comores et Nations Unies 2005]. Enfin, le réseau d'adduction d'eau est limité à la capitale et ses environs. L'alimentation en eau se fait par exploitation de la nappe phréatique à partir de deux puits situés à Vouvouni, équipés de pompes électriques. L'eau pompée est acheminée par tuyau vers Moroni où elle est stockée dans deux citernes situées à Daché, dans les hauteurs de la capitale. Ces citernes constituent les châteaux d'eau qui alimentent la ville de Moroni et ses environs. Dans le reste de la Grande Comore, la plupart des habitants recueillent l'eau de pluie, et usent de citernes à ciel ouvert. Seule Mitsoudje dispose, elle aussi, d'un approvisionnement en eau par forage [PIROI, 2005].

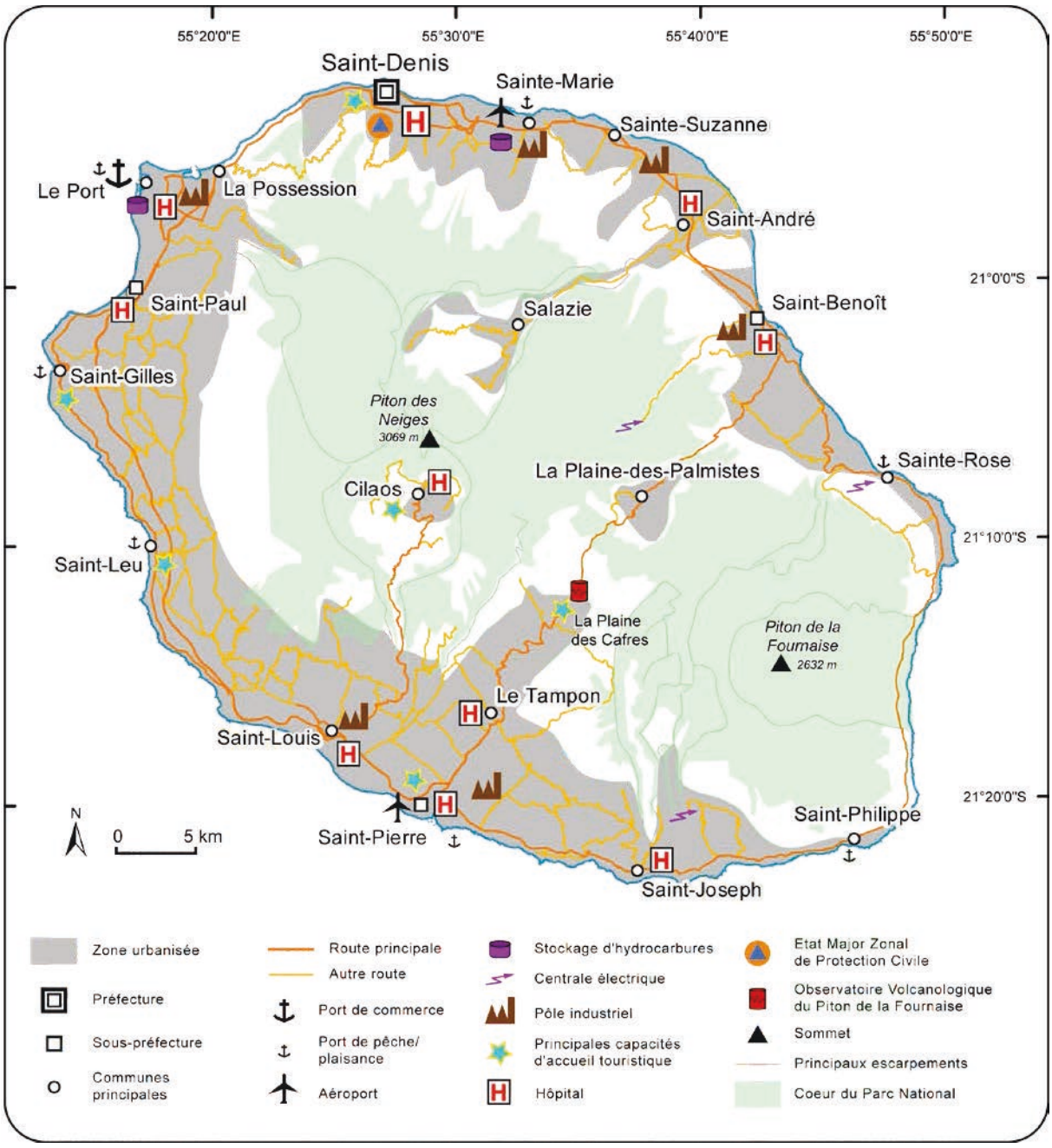



*Figure 10 - L'organisation territoriale réunionnaise (données BD Topo IGN, 2008 ; Conseil Régional de La Réunion, 2010 ; Université de La Réunion & INSEE, 2003)*

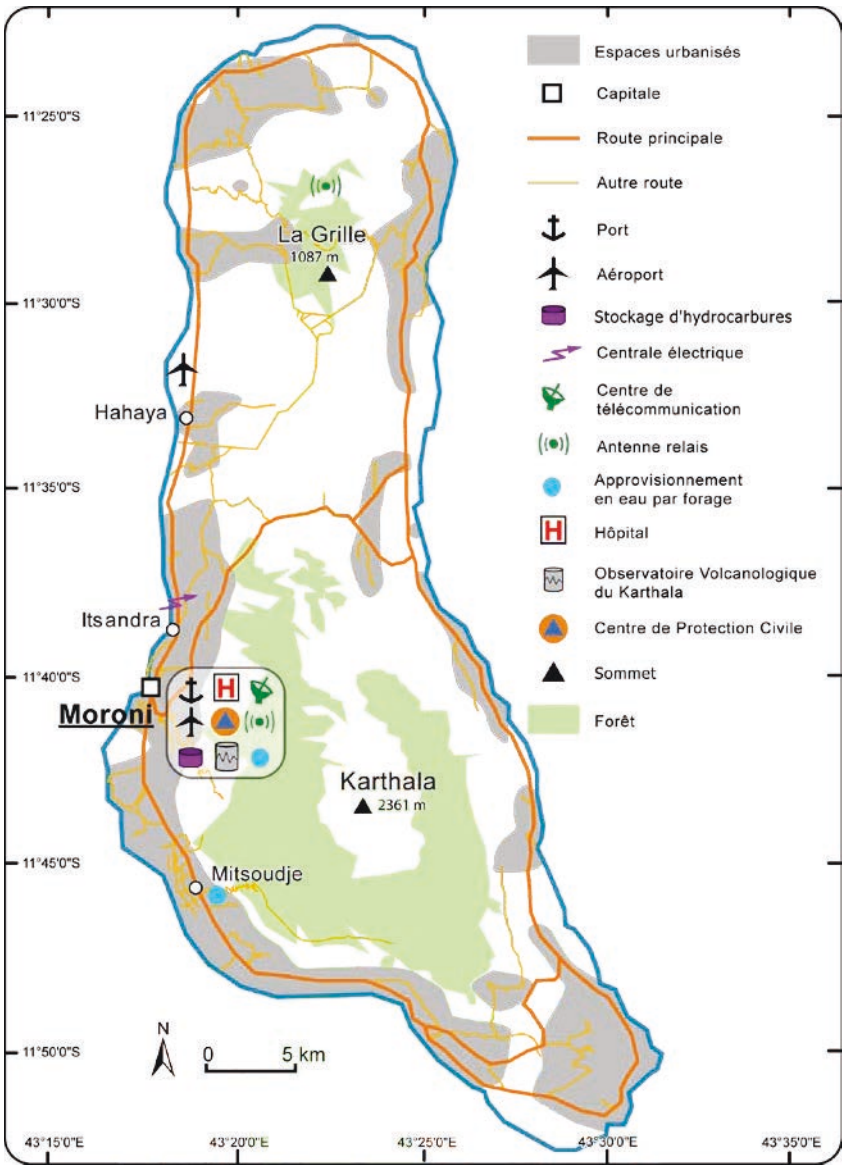



*Figure 11 - Synthèse cartographique des enjeux majeurs en Grande Comore (modifiée d'après Morin, 2006)*

### 1.2.4. Incidence de l'organisation territoriale sur la gestion des crises et occurrence des catastrophes

La forte concentration des enjeux en un lieu unique constitue un facteur majeur de vulnérabilité en Grande Comore. En cas d'atteinte par un aléa, le ratio des pertes par rapport aux biens nationaux pourrait être considérable. Sur les deux îles, l'étalement urbain rend plus problématique la capacité des secours à intervenir en cas de crise. C'est également vrai dans le cas des zones rurales isolées, notamment dans les communes de l'Est réunionnais et des flancs méridionaux et orientaux du Karthala, où vivent des populations vulnérables, marginalisées économiquement et géographiquement.

L'ensemble des facteurs énoncés au cours des précédents paragraphes conditionnent la réalisation de catastrophes sur ces îles exposées à l'ensemble des aléas majeurs[53] exception faite des avalanches. Les Comores figurent parmi les 6 pays au monde les plus exposés aux risques naturels [ISDR 2009]. Ce classement tient compte du nombre d'habitants, de la prévalence des catastrophes, de l'existence d'infrastructures permettant d'y répondre et du niveau de préparation des Etats. Les cyclones sont

[53] Inondations, mouvements de terrain, cyclones, séismes, tsunamis, feux de forêt et éruptions volcaniques.

responsables du plus grand nombre de tués dans des catastrophes d'origine naturelle : 559 en Grande Comore et 228 à La Réunion de 1900 à 2009 [CRED 2010][54]. Le Masson et Kelman [2010] soulignent l'importance des événements d'incidence réduite mais fréquents qui en définitive totalisent le plus de victimes : accidents de la route à La Réunion, naufrages des kwassa-kwassa aux Comores, et maladies endémiques sur les deux îles (paludisme, dengue, leptospirose, choléra…).

Le recensement des catastrophes *naturelles* en fonction du nombre de personnes affectées [CRED 2010] indique une prédominance des événements d'origines cyclonique, épidémique et volcanique sur les deux îles (Figure 12). L'épidémie de chikungunya débutée en 2005 à La Réunion et l'éruption volcanique de novembre 2005 en Grande Comore arrivent en tête du classement avec respectivement 157 000 et 245 000 personnes affectées. Cette éruption est d'ailleurs selon EM-DAT en 6ème position mondiale en termes de personnes affectées jusqu'en 2009.

C'est en effet dans le cadre décrit depuis le début de ce chapitre que s'exerce l'un des volcanismes les plus actifs de la planète.

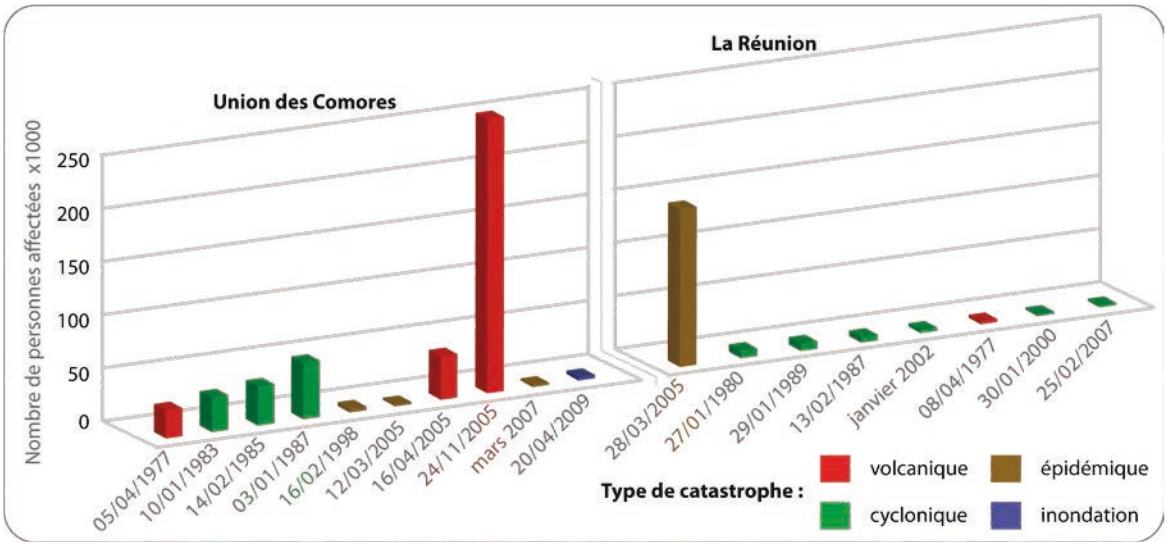



*Figure 12 - Principales catastrophes d'origine naturelle de 1900 à 2009 aux Comores et à La Réunion en fonction du nombre de personnes affectées (données EM-DAT, 2009)*

## 2. DES TERRITOIRES EXPOSES A LA MENACE VOLCANIQUE

### 2.1. UN VOLCANISME ACTIF MENAÇANT REGULIEREMENT LES SOCIETES REUNIONNAISE ET GRAND-COMORIENNE

Nous avons énoncé au préalable que chacune des deux îles est composée d'édifices volcaniques anciens (Piton des Neiges, volcan des Alizés ; massif de la Grille, Mbadjini) et de jeunes volcans actifs (Piton de la Fournaise ; Karthala). Seuls les risques liés au Piton de la Fournaise et au Karthala seront pris en considération dans cette étude, la probabilité d'occurrence d'une éruption d'un des massifs anciens étant extrêmement faible.

[54] Selon EM-DAT une catastrophe est caractérisée par 10 personnes tuées, ou 100 personnes affectées, ou un appel à l'assistance internationale ou une déclaration de l'état d'urgence. Notons que cette base est incomplète : par exemple le chikungunya, répertorié à La Réunion, ne l'est pas aux Comores où il a touché une large part de la population. L'éruption du Merapi qui a nécessité l'évacuation de plus d'un million de personnes en 2010 ou le tsunami de Fukushima en 2011 ne sont pas non plus recensés.

### 2.1.1. Des dynamismes éruptifs et risques associés caractéristiques des volcans-boucliers

Haroun Tazieff, venu y mener une expertise scientifique, fit il y a une trentaine d'années la déclaration suivante : « *Il faut être fou pour habiter la Grande Comore* ». L'omniprésence des laves dans le paysage témoigne effectivement de l'exposition de la totalité du territoire grand comorien au risque volcanique. Cette remarque demande cependant à être modérée. Les volcans boucliers basaltiques ne sont en effet pas considérés comme générateurs d'un risque volcanique important, du fait de la quasi absence de phénomènes éruptifs violemment explosifs susceptibles d'occasionner des pertes importantes parmi les populations vivant autour du volcan.

En revanche leur fréquence éruptive est généralement très élevée. Le Piton de la Fournaise est considéré comme un des volcans les plus actifs au monde[55], avec 264 éruptions répertoriées depuis 1640 (1 tous les 17 mois) et 58 éruptions depuis 1980 (1 tous les 6 mois) ; ([Villeneuve *et al.* 2006], mis à jour). L'histoire éruptive est bien connue principalement grâce aux descriptions livrées dans Lacroix [1925, 1936], Bachèlery [1981], Stieltjes et Moutou [1989], et à partir de 1980 grâce à l'observation systématique des éruptions par l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise (Annexe 1). L'inventaire des éruptions est toutefois sans doute incomplet jusqu'à la moitié du XX$^{ème}$ siècle du fait du peuplement faible et tardif des zones proches du volcan, des difficultés à y accéder, et de la couverture nuageuse locale masquant à l'observation les éruptions de faible ampleur. Ces problèmes se retrouvent en Grande Comore où l'observation n'est systématique que depuis l'installation de l'Observatoire Volcanologique du Karthala en 1988. Le Karthala est entré en éruption au moins 25 fois depuis 1808, peut-être jusqu'à 38 fois (13 éruptions d'occurrence incertaine évoquées dans la littérature -Annexe 2), soit une fréquence éruptive de 5.3 à 8.0 ans en moyenne [Morin *et al.* 2009]. Au XXI$^{ème}$ siècle cette fréquence a été dépassée avec la succession de quatre éruptions se produisant à environ 6 mois d'intervalle les unes des autres, en avril et novembre 2005, mai 2006 et janvier 2007.

Cette variabilité de la fréquence éruptive est notable sur les deux volcans : 14 ans d'inactivité avant et après l'éruption de 1991 au Karthala, 6 ans avant celle de 1998 à la Fournaise. La durée des éruptions, de quelques heures à plusieurs mois, et leur localisation sont également variables. On distingue communément celles qui se produisent :

- intra caldeira (*intra-Enclos* à la Fournaise), dites sommitales quelle que soit leur localisation au Karthala, et différenciées par Peltier [2007] pour la Fournaise : sommitales lorsqu'elles surviennent dans le Dolomieu, latérales proximales sur les flancs du cône central, et latérales distales[56] à plus de quatre kilomètres de la zone sommitale et à une altitude inférieure à 2000 m ;

- hors caldeira (*hors-Enclos* à la Fournaise), soit sur les rift-zones (éruptions dites latérales au Karthala comme en 1859, latérales distales à la Fournaise comme en 1977), soit sur les flancs hors rift-zone (éruptions excentriques type 1977 en Grande Comore et Chisny à La Réunion). En termes de risque, la capacité des rift-zones à drainer des magmas vers des zones très éloignées du sommet est préoccupante : en 1859 une fissure s'est ouverte sur la rift-zone Nord du Karthala, à 25 km du sommet.

La localisation des éruptions semble être liée à des grands cycles éruptifs. Au Karthala, les rift-zones ont été le siège de la majorité des éruptions durant la période historique : 1848, 1857, 1858, 1859, 1862, 1872, 1876, 1880, 1904, 1918 [Krafft 1983]. Les éruptions plus récentes se sont essentiellement produites dans la

[55] Le taux moyen annuel d'émission magmatique à la Fournaise est de 0, 32$m^3s^{-1}$ depuis 1920 soit 10 millions de $m^3$/an [Bachèlery 1999]. Il est bien inférieur au Karthala avec un débit moyen de 0,07 $m^3s^{-1}$ de 1848 à 2006 [Villeneuve *et al.* 2006], soit 2,2 millions de $m^3$ par an.

[56] Les éruptions latérales distales peuvent également survenir hors-Enclos [Peltier 2007].

caldeira selon un axe conforme à la rift-zone nord [Bachèlery 1999], puis exclusivement dans la caldeira au XXI$^{ème}$ siècle. A la Fournaise, l'activité a intéressé, depuis 1977, l'ensemble des secteurs du volcan avec fréquemment des fractures longues, se développant depuis le sommet jusqu'en des points éloignés dans l'Enclos voire hors-Enclos (1986, 1998) [Bachèlery 1999]. Au XXI$^{ème}$ siècle, l'activité s'est poursuivie pour l'essentiel à l'intérieur de l'Enclos au niveau des deux cratères sommitaux ou le long d'axes d'injection préférentiels [Peltier 2007]. La prédominance actuelle d'éruptions intra-caldeiriques n'exclue pas pour autant l'occurrence à l'avenir d'événements affectant les zones peuplées des deux territoires étudiés. Outre leur localisation, les dynamiques éruptives en jeu sont alors décisives pour déterminer le niveau de risque.

### 2.1.2. Les éruptions à dominante magmatique et risques associés

La plupart des éruptions qu'ont connues le Piton de la Fournaise et le Karthala au cours de la période historique ont été de « type magmatique ». Ces éruptions sont caractérisées par l'ouverture de fissures éruptives, la mise en place de coulées de lave s'écoulant parfois en tunnels, l'édification de spatter-cones et spatter-remparts et la projection de cheveux de Pele. Les cartes Figure 13 et Figure 14 présentent les zonages de l'aléa magmatique pour chacune des deux îles.

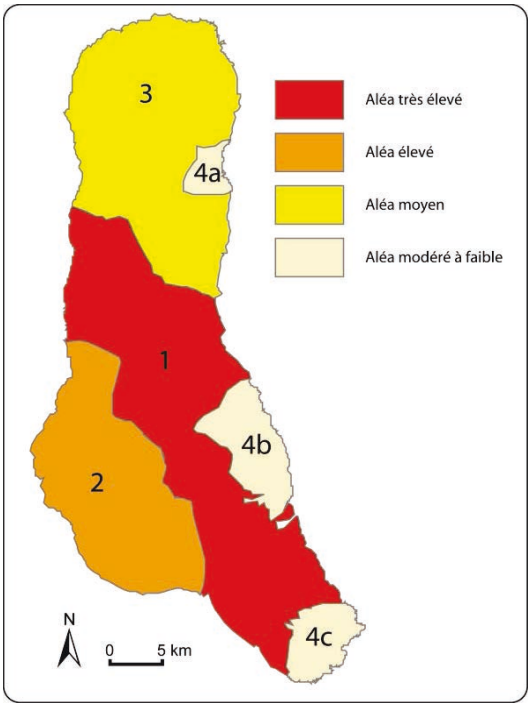



*Figure 13 - Carte de zonage de l'aléa magmatique en Grande Comore, d'après Nassor [2001], basé sur quatre critères : ligne de plus grande pente, fréquence éruptive, densité des cônes éruptifs, simulations de coulées à l'aide du logiciel TRIFLUX*

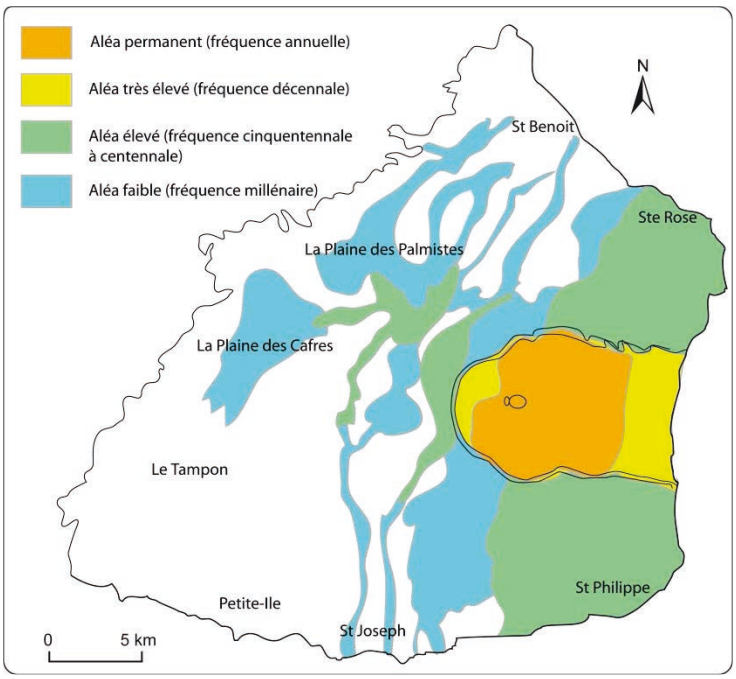



*Figure 14 - Carte de zonage de l'aléa "coulées de lave" à La Réunion, d'après le DDRM [BRGM 2008]*

### ❖ *Les coulées de lave : approche statistique et historique*

- **Des coulées susceptibles de menacer l'ensemble des zones habitées du Karthala**

Les éruptions historiques au Karthala ont quasiment toutes donné naissance à des coulées de type 'a'ā [Krafft 1983], avec dans 90 % des cas des évents situés selon les rift-zones ou dans la caldeira. La carte du Karthala [Bachèlery et Coudray 1993] montre un grand nombre d'événements effusifs issus des rift-zones ou d'évents excentriques qui ont affecté les basses pentes peuplées de l'île. L'émission dans la caldeira ne signifie pas pour autant l'absence de tout risque volcanique, la lave pouvant s'écouler par la Porte d'Itsandra. Une coulée a ainsi débordé en 1860, pour parvenir à la mer par Boboni [Lacroix 1920] (Figure 6). Ce fut également le cas de celle de 1972, émise par un cône depuis le lobe nord de la caldeira, dont les coulées se sont répandues sur le flanc nord-ouest, après être sorties de la caldeira par la porte d'Itsandra. Seul le faible volume de cette éruption, dont la coulée fut courte, a épargné Moroni et ses environs [Bachèlery et Coudray 1993].

Les coulées de lave du Karthala parcourent depuis leur point d'émission une distance moyenne de 5.4 km, pour une épaisseur d'environ 4.65 m et un volume moyen de 19.7 $km^3$. Il faudrait 14 km à une coulée issue du sommet pour atteindre Moroni, or seules 10 % d'entre elles dépassent 9 km. En revanche, 50 % des coulées ont un point d'émission situé en dessous de 1170 m. En partant de cette altitude et considérant la longueur des coulées (5.4 km), elles atteignent aisément la mer, traversant au passage des zones urbanisées [Morin 2006]. Cela d'autant plus que la circulation des coulées se fait beaucoup sous forme de tunnels sur le massif du Karthala. Des villages pourtant très éloignés des évents peuvent être menacés par la lave maintenue à haute température dans ces systèmes de tunnels, présents en grand nombre dans les coulées récentes [Pavlovsky et Saint-Ours 1953]. La coulée de Hahaya a ainsi parcouru 27 km avant d'atteindre l'emplacement de l'actuel aéroport (sous lequel trente-deux tunnels ont été détectés sur moins de 3 km de longueur [Krafft 1983] ; Figure 15). Notons que les coulées peuvent être rapides : elles auraient tué une personne en 1904 [Bachèlery et Coudray 1993]. La présence de nombreux appareils adventifs anciens sur les bas flancs du Karthala a fait dire à Krafft [1982] que « *Le Karthala est, de ce fait, l'un des volcans basaltiques à activité hawaiienne les plus dangereux du monde, les éruptions à venir (…) ayant*

*une probabilité presque égale de se produire dans la caldera, les rifts ou n'importe où sur ses flancs, même à basse altitude près des nombreux villages qui longent la côte.* ».

L'exemple aujourd'hui le plus significatif en termes de risque est celui de la coulée de 1858. Emise sur la rift-zone nord à 2100 m, elle a parcouru 14 km depuis les parties hautes et atteint la mer en menaçant d'engloutir Moroni, traversant une zone aujourd'hui occupée par la partie nord de la capitale, au lieu-dit « La Koule ». Le toponyme Moroni, littéralement « dans le feu », tirerait son origine de cet événement [Guébourg 1995]. Considérant l'occupation actuelle du territoire, cette coulée toucherait 2076 bâtiments (soit environ 22,8 ha de surface bâtie au sol) et couvrirait 28% de la surface urbanisée de Moroni (Figure 16). Le PNPRU [Union des Comores 2007] indique qu'aujourd'hui 75 000 personnes seraient affectées par une telle coulée, tandis qu'une coulée en zone rurale en toucherait 10 000. Au total, les coulées postérieures au 19ème siècle ont recouvert près de 25% du territoire [Nassor 2001].

*Figure 15 - Coulées issues des rift-zones du Karthala : sur l'aéroport de Hahaya (A) et au lieu-dit Dzahani (« dans la coulée ») au centre-est de la Grande Comore (B) (clichés J. Morin, mai 2006)*

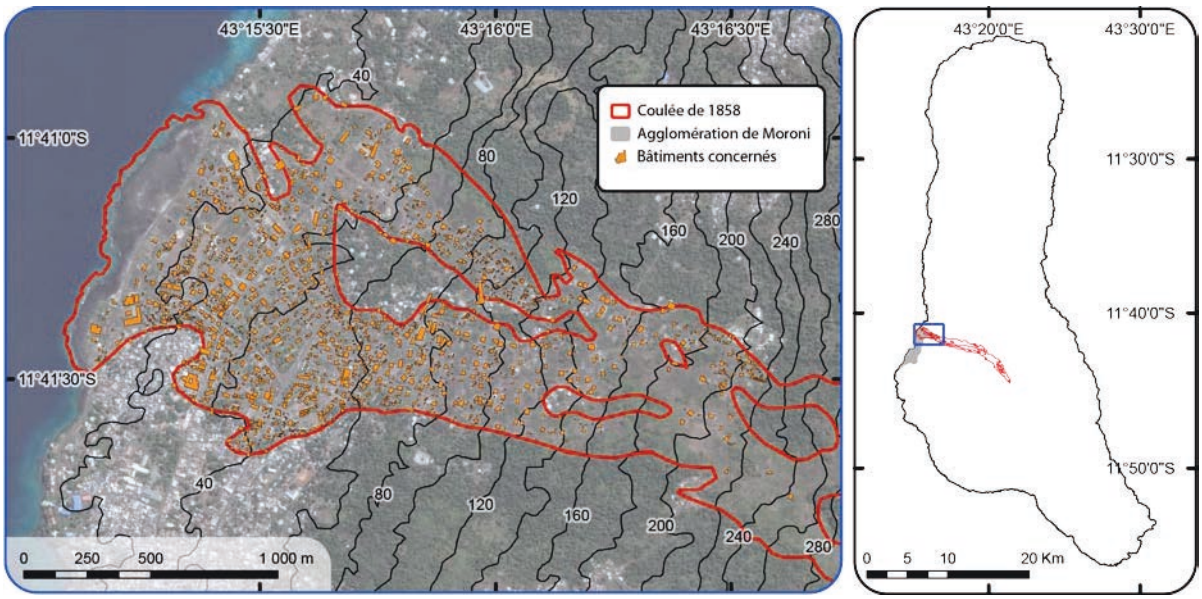



*Figure 16 - Coulée de 1858 couvrant près du tiers de la surface urbanisée actuelle de Moroni*

- **A la Fournaise, des éruptions hors-Enclos peu fréquentes à fort potentiel d'endommagement**

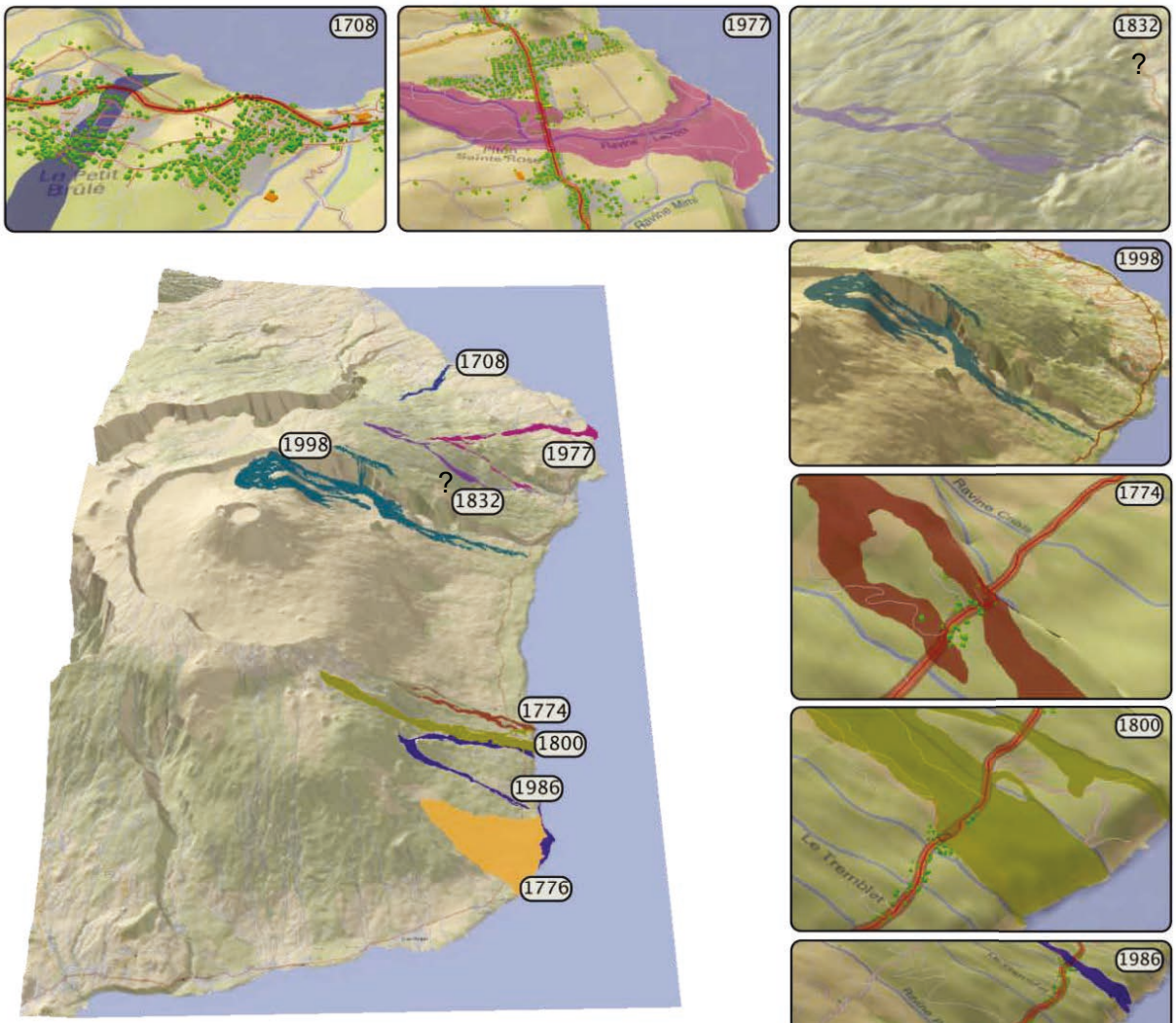
La situation à La Réunion est moins critique car 95% des coulées restent confinées dans l'Enclos, loin des principaux enjeux humains [Villeneuve et Bachèlery 2006]. A partir des caractéristiques des éruptions de la période 1998-2007 (fournies par Peltier [2007], actualisé depuis par Peltier *et al.* [2009]), nous pouvons déterminer une altitude d'émission moyenne à 2085 m. Seules les éruptions de février 2005 et avril 2007

ont pris place sous la cote des 1000 m, soit seulement 6% des éruptions pour cette période. Ces résultats rejoignent ceux de Bachèlery [1999] selon lequel 95% des coulées de la période historique sont issues de fissures ouvertes à plus de 1800m. La plupart des coulées doivent donc parcourir entre 7 et 10 km pour couper la route qui traverse le Grand Brûlé et en moyenne 750 m de plus pour atteindre le rivage. Or, la longueur moyenne des coulées de 1980 à 2010 (calculée à partir de la base de données de Servadio [2011]) est de 3,38 km. Sur les 253 éruptions comptabilisées jusqu'en 1988 par Stieltjes et Moutou [1989], seules 14 ont atteint la mer au XIX$^{ème}$ siècle et 6 au XX$^{ème}$. Au XXI$^{ème}$ siècle, c'est également le cas des coulées de 2002, 2005 et 2007. Outre les dégâts occasionnés à la route, l'arrivée de la lave en mer peut constituer un danger pour les populations voisines ; nous y reviendrons. Enfin, l'ouverture de coulées dans l'Enclos peut menacer les randonneurs, nombreux à parcourir le massif de la Fournaise chaque année - contrairement au Karthala qui attire peu de visiteurs -. Ils sont concernés aussi bien par les aléas de début d'éruption (encerclement par des coulées, retombées de blocs, etc.) que par des aléas secondaires : effondrement des banquettes littorales, des tunnels de lave, d'accumulations de retombées bordant des fissures encore chaudes. Notons que certaines coulées intra-Enclos proches des remparts peuvent également représenter une menace pour les villages voisins comme ce fut le cas pour Bois Blanc en 2002 et le Tremblet en 2007, tous deux évacués du fait de la proximité du point d'émission.

Le risque majeur réside dans la survenue d'éruptions hors-Enclos depuis les rift-zones. Elles se sont produites à 8 ou 9 reprises au cours de la période historique (l'éruption de 1733 étant incertaine) selon Stieltjes et Moutou [1989], soit 9 à 10 fois en comptant celle de 1998. Cela équivaut à une tous les 40 ans environ depuis l'occupation historique de l'île, mais ces 34 dernières années en totalisent 3 à elles seules (1977, 1986 et 1998), soit une éruption hors-Enclos tous les 11 ans pour la période récente.

Les autres ont toutes pris place sur les rift-zones NE et SE, parfois à très basse altitude : jusqu'à 30m d'altitude en 1986 [Delorme *et al.* 1989]. Les dégâts qu'occasionneraient ces coulées survenant sur le territoire tel qu'il est occupé aujourd'hui sont représentés et détaillés en Figure 17. L'exemple de 1708 (64 bâtiments touchés) donne une bonne idée des dégâts importants que pourraient occasionner une coulée semblable, même de faible emprise (0,9 km$^2$), atteignant aujourd'hui une zone urbaine. En 1708, elle n'avait occasionné que des feux de forêt. Les zones moins densément peuplées sont tout autant concernées : 134 bâtiments et 2,6 km de route nationale seraient touchés par une coulée du type de celle de 1776 qui recouvre 6,4 km$^2$. Tout comme en 1708, seuls des champs et espaces forestiers avaient été détruits lors de cet événement. Pour comparaison, les éruptions hors-Enclos les plus destructrices, en 1977 à Sainte-Rose et en 1986 à Saint-Philippe, n'ont entrainé respectivement la destruction « que » de 33 et 8 habitations. Aujourd'hui, 12 000 personnes [INSEE 2011] sont menacées par ce type d'éruption.

Villeneuve et Bachèlery [2006] montrent par ailleurs que le risque d'éruption hors-Enclos sur la partie Ouest du massif est préoccupant. Sa probabilité d'occurrence y est plus faible (pluricentennal à plurimillénaire) mais les enjeux y sont bien plus nombreux. Ces auteurs citent entre autres exemples les coulées du Commerson (1825 B.P. +- 74 ans ; Mairine, 2006) qui affecteraient aujourd'hui Saint-Joseph et ses 35 000 habitants [INSEE 2011], et celles des Trous Blancs (~ 6000 B.P.) qui détruiraient les centres de Saint-Pierre et du Tampon (villes qui regroupent 148 000 habitants [INSEE 2011]). Selon Villeneuve et Bachèlery [2006], ce type d'éruption (dont l'alimentation est beaucoup plus profonde donc non conditionnée par les rift-zones) concerne tout le massif, soit 250 000 personnes.




| | Année | 1708 | 1774 | 1776 | 1800 | 1832 | 1977 | 1986 | 1998 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coulées | Surface (km²) | 0,9 | 0,8 | 6,4 | 2,51 | 0,9 | 2,21 | 1,72 | 0,44 |
| | Alt. Max. | 886 | 1 108 | 691 | 1 694 | 1528 | 1 131 | 1 047 | 1 682 |
| | Alt. Min. | 0 | 0 | 0 | 0 | 219 | 0 | 0 | 1 225 |
| Enjeux actuels | Nbre. bâtiments | 64 | 10 | 134 | 8 | 0 | 21 | 4 | 0 |
| | Surface bâtie (m²) | 8 719 | 1 235 | 16 892 | 1 160 | 0 | 3 060 | 194 | 0 |
| | Route primaire (km) | 0,11 | 0,280 | 2,58 | 0,64 | 0 | 0,34 | 0,22 | 0 |
| | Route secondaire | 4,63 | 0,07 | 1,14 | 0,22 | 0 | 0,71 | 0,34 | 0 |
| | Chemins (km) | 0,6 | 0,58 | 17,22 | 2,89 | 0,05 | 12,43 | 7,37 | 0 |
| | Forêt (km²) | 0,87 | 0,76 | 5,24 | 2,04 | 0,91 | 0,92 | 0,33 | 0,05 |

*Figure 17 - Localisation des coulées historiques hors-Enclos selon les rifts zones SE et NE de la Fournaise et impacts prenant en compte l'aménagement actuel du territoire (orientations et échelles variables ; fonds de cartes BD Raster v2.4 IGN & ESRI France/Cartosphère, 2008 ; enjeux BD Topo v2 IGN, 2009 ; coulées Z. Servadio)*

### ❖ *Une large partie du territoire occasionnellement menacée par les retombées liées à l'activité magmatique*

Si l'extension des coulées reste généralement limitée, la dispersion des projections magmatiques peut affecter une zone beaucoup plus étendue et atteindre des régions parfois éloignées du volcan. La fréquence des événements éruptifs susceptibles de projeter des matériaux loin de la zone du volcan est faible et le volume des projections toujours relativement modeste (quelques millimètres tout au plus lorsque l'on s'éloigne de quelques dizaines de mètres de l'évent éruptif).

A La Réunion, des émissions magmatiques occasionnent la dispersion de cheveux de Pele en moyenne 6 à 7 fois par siècle, parfois jusqu'à plus de 60 km du volcan [Bachèlery 1999]. Elles peuvent constituer un risque pour la population (pollution des cultures et captages d'eau, irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires) ou le bétail (pollution des pâturages). La mort de bétail par perforation intestinale à la Plaine des Cafres leur a été attribuée en 1939, 1955 et 1972 [Stieltjes et Moutou 1989] et 1931 [Bachèlery 1999]. Seuls les cirques, protégés par le relief, sont épargnés par ce phénomène (Figure 18). Il n'en est à aucun moment fait mention dans la littérature sur la Grande Comore.

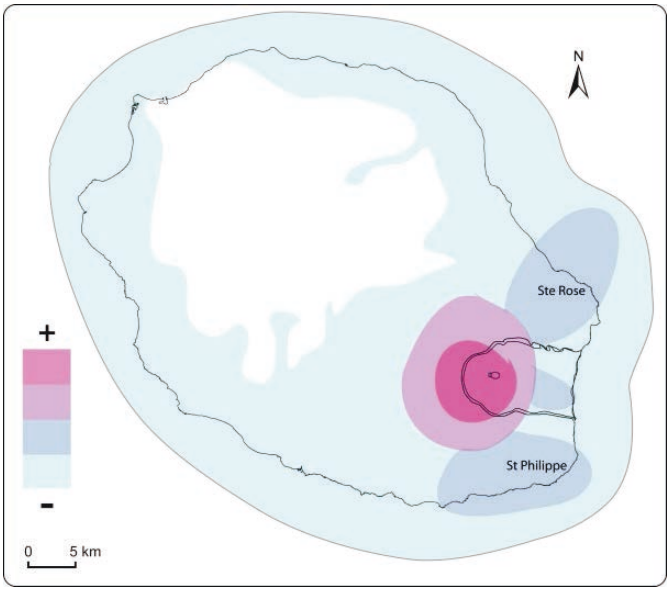



*Figure 18 - « Risque » de retombées de cheveux de Pele à La Réunion, d'après le DDRM [BRGM, 2008]*

A une échelle plus locale, lorsque les coulées atteignent le littoral, le contact avec l'eau entraine une fragmentation de la lave et la formation d'un panache gazeux. Les particules projetées peuvent affecter les enjeux à plusieurs centaines de mètres alentour, comme au Tremblet en 2007 (Chapitre IV, 2.1, p.152).

Enfin, les volcans des deux îles sont très largement pourvus en grands cônes de scories résultant de manifestations stromboliennes localisées sur les flancs ou au sommet. Le danger de telles manifestations réside dans le dépôt d'épaisses couches de cendres sur les régions avoisinant les cônes éruptifs, zones potentiellement habitées. Cet aléa est pris en compte dans le zonage proposé (Figure 13) par Nassor [2001] ; il n'est en revanche pas mentionné dans la cartographie de l'aléa proposée par le BRGM [2008] à La Réunion (Figure 14).

### 2.1.3. Eruptions phréatiques et phréatomagmatiques : aléas et risques associés

Les phases d'activité violemment explosive, d'origine phréatique et phréatomagmatique, constituent également une composante importante de l'activité éruptive des deux édifices. Liées à l'interaction entre le système magmatique et le système phréatique, elles déterminent l'essentiel du risque éruptif : retombées de blocs et de cendres, déferlantes basales, voire formation de lahars ou émission de gaz toxiques. Elles se produisent essentiellement en zone sommitale.

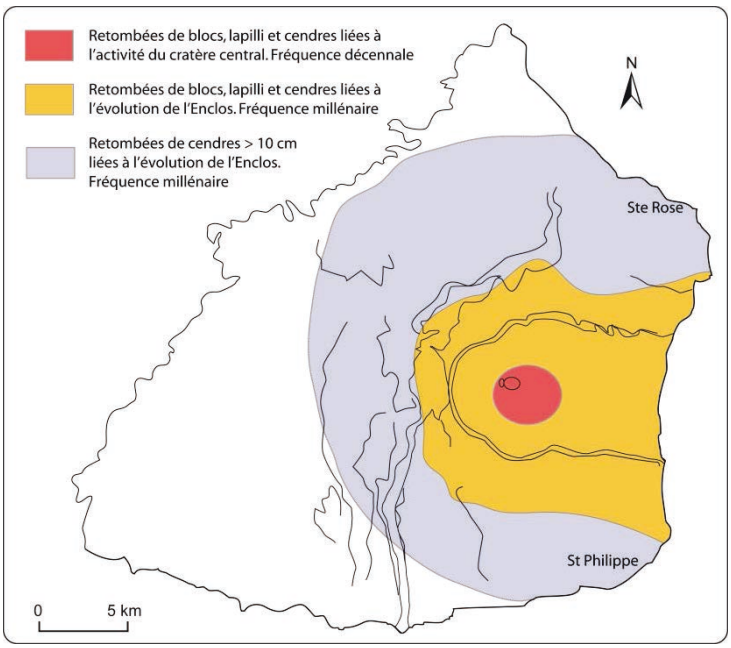



*Figure 19 - Carte de zonage des aléas "retombées de blocs, lapilli et cendres" à La Réunion, d'après le DDRM [BRGM, 2008]*

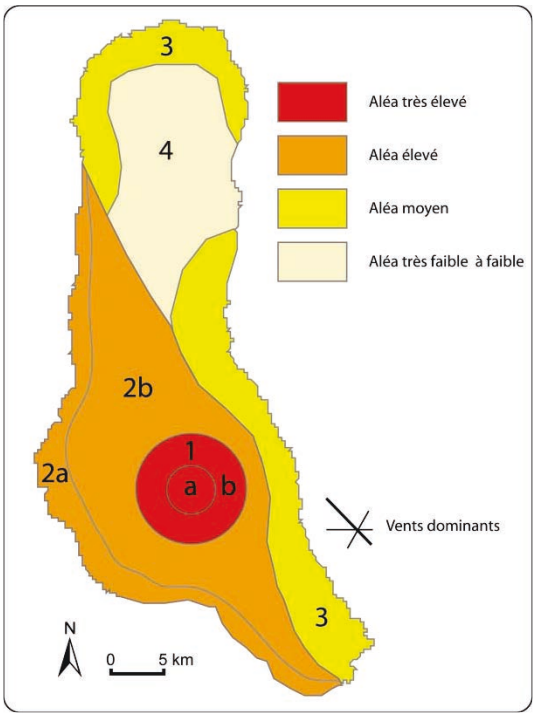



*Figure 20 - Carte de zonage de l'aléa retombées de cendres en Grande Comore, d'après Nassor [2001]*

La Fournaise a connu une quinzaine d'événements de ce type depuis que La Réunion est peuplée (1753, 1762, 1776, 1791, 1802, 1812, 1814, 1821, 1860, 1890, 1905, 1953, 1961, 1986, 2002), soit une phase explosive tous les 30 ans environ [Bachèlery 1999]. Les éruptions les plus violentes, en 1791 et 1860, ont éjecté des blocs à plus de 10 km du cratère dans les rampes de Bois Blanc, zone habitée (Hugoulin in Lacroix [1936]). Lacroix [1936] cite également des retombées de cendres jusqu'à Saint-Denis. L'interaction eau-magma est fréquemment liée à un effondrement ou à la formation d'un pit-crater, comme en 1986.

Neuf événements explosifs ont été recensés au Karthala : 2 phréatiques en 1918 et 1991, 7 phréatomagmatiques (1855, 1858, 1904, 1948, 1952, avril 2005, novembre 2005). Les explosions de 2005

ont appris aux populations que l'ensemble de l'île peut être concerné par les retombées de cendres. Celle de 1991 (1,5 x $10^6 m^3$ pour une surface recouverte de 12 x $10^6 m^2$ selon Bachèlery *et al.* [1995]) n'avait en effet touché que la zone sommitale où l'aléa est maximal (Figure 20). Cette forte proportion de complications phréatiques dans les éruptions historiques du Karthala s'explique par la présence d'un système hydrothermal très actif et d'un aquifère permanent à faible profondeur sous le sommet, comme l'ont démontré les lacs installés à plusieurs reprises dans le Choungou Chahale [Bachèlery 1999].

Les éruptions phréatomagmatiques peuvent se produire en domaine littoral par contact entre le magma et l'eau de mer. Le Piton Vincendo à Saint-Joseph à La Réunion en est un exemple. Les explosions hydromagmatiques ont déposé des couches de hyalocastites palagonitisées sur plus de 60 mètres d'épaisseur, en détruisant probablement toute vie dans un rayon de 2 km [Mairine 2006]. En Grande Comore, les cônes de hyaloclastites d'Iconi et de Moindzaza témoignent également de ce type d'activité [Bachèlery et Coudray 1993]. Ils sont intégrés au zonage de l'aléa proposé Figure 20 par Nassor [2001].

Ces éruptions hydromagmatiques peuvent également se dérouler sur les flancs des édifices si le magma débouche dans une zone saturée en eau (nappe phréatique, lac, etc.). Il semble que cela ne se soit jamais produit en Grande Comore [Nassor 2001]. En revanche, de nombreux grands cônes hors-Enclos à la Fournaise ont eu une activité éruptive compliquée par l'eau (dont le sous-sol des Plaines regorge), comme le Piton Hyacinthe il y a plus de 22 000 ans [Mairine *et al.* 2010]. Notons que la cartographie présentée dans le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) de La Réunion [BRGM 2008] omet totalement de considérer les événements hors zone sommitale.

Enfin, la présence de dépôts pyroclastiques à dominante cendreuse d'épaisseur plurimétrique et la morphologie des massifs montrent que des éruptions explosives paroxysmales se sont produites vers 4695, 3960 et 2390 B.P. au Karthala [Nassor 2001] et à plusieurs reprises à La Fournaise. La plus connue a été datée à 4700 B.P. grâce aux *cendres de Bellecombe* : elle correspond à la formation de l'Enclos [Bachèlery 1981 ; Abchir *et al.* 1998].

Enfin, dans aucune des deux îles, la remobilisation des dépôts sous forme de lahars n'est prise en compte dans le zonage de l'aléa. La menace exercée par ce type d'aléa a pourtant été largement démontrée à La Réunion en 1965. Une coulée de débris de 50 millions de $m^3$, alimentée par les produits de l'éboulement de Mahavel, a créé un lac de barrage dans la Rivière des Remparts dont la rupture soudaine menaçait plusieurs milliers de personnes à Saint-Joseph [Bachèlery 1999]. Son écoulement a finalement été progressif grâce à la création d'un chenal de dérivation. Mairine *et al.* [2010] mettent par ailleurs en évidence la présence d'autres dépôts de lahars dans les parois de la Rivière des Remparts. En Grande Comore, un tour de l'île nous a permis en 2006 d'observer d'anciens dépôts de lahars chargés de blocs parfois métriques, dont certains sont indiqués sous l'appellation « alluvions et colluvions » sur la carte géologique [Bachèlery et Coudray 1993]. Depuis les éruptions explosives de 2005, la formation de coulées hyperconcentrées est devenue un aléa majeur d'occurrence annuelle sur l'île, notamment dans les régions de Bambao, Hambou et Dimani. Soule [2011], sur la base d'observations de terrain et à l'aide de la carte topographique de l'île au 50 000$^e$, a cartographié les chenaux d'écoulement des lahars actifs en 2010, mentionnant que ses travaux sont pour l'heure incomplets (il manque notamment un chenal d'écoulement qui traverse Mvouni pour aboutir à Moroni ; cf. Chapitre V, 0).

### 2.1.4. Autres aléas et risques induits par la présence d'édifices volcaniques

Quel que soit le type d'éruption, les gaz et la sismicité représentent une menace supplémentaire.

Des émanations gazeuses à doses faibles à létales peuvent menacer la santé des populations des deux îles. En 1903 en Grande Comore, un épanchement de gaz aurait tué 17 personnes sur la rift-zone sud-est du Karthala [Bachèlery et Coudray 1993]. En 1991, environ 1h30 après l'explosion phréatique du 11 juillet, des émanations de gaz ont été ressenties jusque sur le littoral ouest de l'île [Nassor 2001], de même qu'une forte odeur soufrée a accompagné les retombées de cendres d'avril 2005. A la Fournaise, certaines éruptions comme celle de 2006 sont couplées à un vog[57] sur le sud de l'île [Viane *et al.* 2009]. En 2007, des émanations de $SO_2$ ont entrainé l'hospitalisation de 14 collégiens pour problèmes respiratoires [SOGREAH 2010].

La Réunion et la Grande Comore sont marquées par des séismes volcaniques de faible magnitude (en général < 2.5 Md mais jusqu'à 4.3 au Karthala en 1991 et 2005), parfois fortement ressentis par les populations et à l'origine de « paniques ». L'éruption de 1991 aux Comores a été précédée de 30 000 séismes. Mille personnes ont fui le sud de l'île pour se réfugier à Moroni [Bachèlery *et al.* 1995]. En 2007, c'est justement dans le centre historique de Moroni que l'activité sismique accompagnant l'éruption de janvier a entraîné l'effondrement d'un immeuble et en a endommagé plusieurs autres. A La Réunion, les séismes volcaniques sont rarement ressentis contrairement aux séismes régionaux. L'intégralité de l'île se trouve en zone 2 (d'aléa faible) du nouveau zonage parasismique de la France[58] [MEDDTL 2010]. La Grande Comore, également soumise à l'activité tectonique régionale, ne fait l'objet d'aucun zonage sismique.

Enfin, les deux îles sont concernées par des mouvements tectoniques et gravitaires de masse susceptibles d'occasionner des tsunamis, aussi bien aux Comores [Hartnady 2005a, b] qu'à La Réunion [Kelfoun *et al.* 2010]. Bien qu'ils soient considérés par la communauté scientifique, ils sont évincés des réflexions sur la gestion car d'occurrence extrêmement faible (plurimillénaire). Ils auraient une telle incidence que leur gestion est par ailleurs impossible à planifier.

### 2.1.5. Synthèse des risques volcaniques

Les cartographies disponibles sur les des deux îles ne sont pas harmonisées, donc difficilement comparables. Elles permettent toutefois de bien résumer la situation : les zones de plus fort aléa se trouvent proches des sommets, celles éloignées ou protégées par des reliefs sont épargnées : cirques, massif de la Grille.

Il existe une carte de synthèse de l'ensemble des « *risques* » à La Réunion dans le DDRM [BRGM 2008] mais aucune cartographie fine du risque volcanique n'a encore été réalisée. Pour en avoir une vision un peu plus précise, nous avons établi une synthèse cartographique de l'exposition des communes aux aléas volcaniques (Figure 21) à partir des indices fournis dans le DDRM [p.13]. Cette carte n'intègre pas l'analyse des enjeux mais permet au moins de mettre clairement en évidence l'exposition de cinq communes aux aléas volcaniques. Saint-Philippe et Sainte-Rose sont les communes les plus exposées. Elles sont concernées par les éruptions annuelles dans l'Enclos, décennales à centennales sur les rift-zones NE et

[57] De « volcanic fog ».

[58] Adopté depuis le 22 octobre 2010, il définit cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes. Des règles de construction parasismique sont applicables depuis le 1er mai 2011 dans les zones 2 à 5 (articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement modifiés par les décrets 2010-1254 et -1255 et l'Arrêté du 22 octobre 2010).

SE. Les principaux enjeux sont les randonneurs présents par centaines certains jours au sommet, la RN2 coupée plusieurs fois par décennie dans le Grand-Brûlé, et les personnes, biens et réseaux situés dans les villages hors-Enclos menacés. Saint-Joseph, Le Tampon et la Plaine-des-Palmistes sont exposées aux grandes éruptions hors-Enclos d'occurrence millénaire. Les enjeux sont considérables car ces communes sont fortement urbanisées, le risque est donc majeur. Des travaux sur les aléas en cours d'actualisation montrent que Saint-Benoît est également exposée (Figure 23, [Mairine et Crozet in prep.]). Enfin, les aléas d'occurrence plurimillénaire (formation d'une caldeira, épais dépôts de cendres, avalanches de débris, tsunamis) sont ceux auxquels seraient attribuables les impacts les plus forts dans l'ensemble des communes citées. Ils représentent le risque maximal en termes d'endommagement potentiel.

Contrairement à celle disponible pour La Réunion, la cartographie du risque volcanique en Grande Comore (Figure 22) est une réelle carte de risque qui intègre les enjeux exposés à l'ouverture de fissures, au recouvrement par les coulées et les tephra. On constate que le sommet du Karthala, les massifs de La Grille, du Mbadjini, ainsi qu'une enclave sur le flanc oriental d'Idjikoundzi à Bandamadji sont des zones de risque nul à faible. La zone de risque le plus élevé englobe le littoral occidental où sont concentrés les enjeux (avec en premier lieu la zone 1a qui comprend Moroni et Hahaya) et deux zones transversales O-E au N et au S du Karthala qui correspondent au tracé des routes nationales. En revanche, cette cartographie prend en compte la présence d'enjeux sans envisager des facteurs comme l'isolement qui contribuent à fortement renforcer le risque. On peut par exemple s'interroger sur le réel degré de risque en zone 4b, enclavée, proche des cratères, et concernée par d'importantes retombées de cendres en 2005.

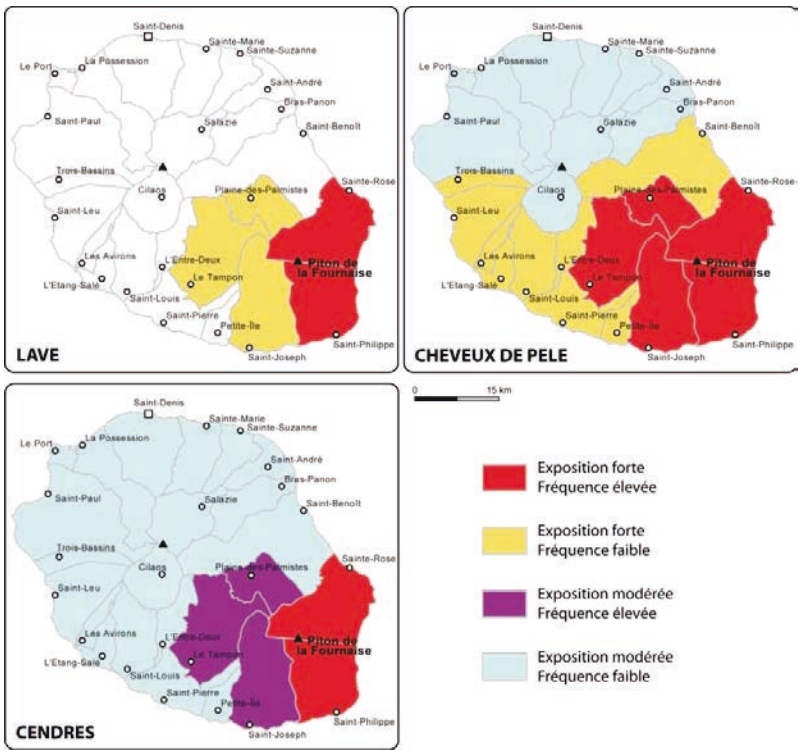



*Figure 21 - Synthèse cartographique des indices d'exposition fournis dans le DDRM [BRGM, 2008]*

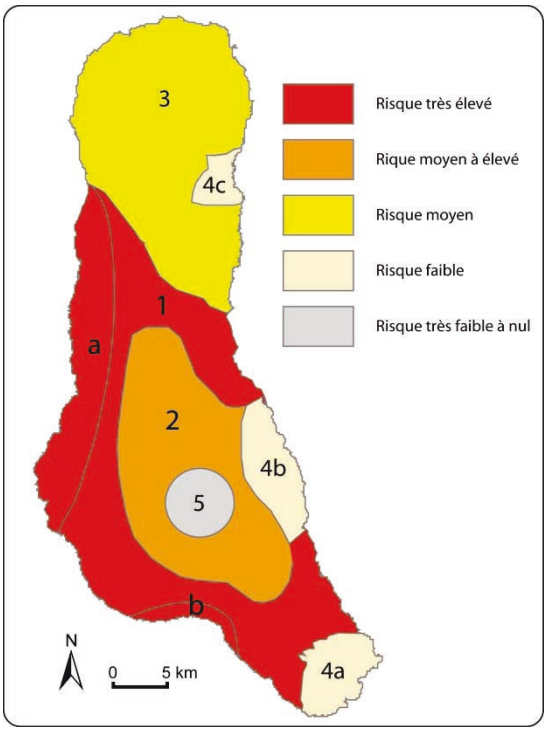



*Figure 22 - Cartographie du risque volcanique en Grande Comore d'après Nassor [2001]*

## 2.3. FAIRE FACE AUX RISQUES VOLCANIQUES A LA REUNION ET EN GRANDE COMORE

### 2.3.1. La gestion des risques volcaniques à la Réunion et la Grande Comore

#### ❖ *Un relatif déséquilibre des modes de gestion entre les deux îles*

La gestion du risque volcanique est partiellement lacunaire sur les deux îles : l'existant n'est pas toujours de bonne qualité et de nombreux éléments ne sont pas pris en considération (Tableau 4).

*Tableau 4 - Etat d'avancement des modes de gestion du risque volcanique à La Réunion et en Grande Comore*

**Etat des travaux :**

| | |
|---|---|
| - | Pas de travaux sur le sujet |
| >>> | Travaux en cours |

**Qualité de l'existant globalement :**

| | | |
|---|---|---|
| médiocre | moyenne | bonne |

| | | | | La Réunion | Grande Comore |
|---|---|---|---|---|---|
| **Evaluation du risque** | Evaluation des aléas | Connaissance du passé éruptif | | >>> | *[Krafft 1983]* |
| | | Modélisation des aléas | Coulées de lave | *[Villeneuve 2000]* | *[Nassor 2001]* |
| | | | Retombées pyroclastiques | - | - |
| | | | Lahars | - | - |
| | | | Autres aléas | Risque gravitaire : *[Kelfoun et al. 2010]* | - |
| | | Cartographie des aléas | Coulées de lave | >>> | *[Nassor 2001]* |
| | | | Retombées pyroclastiques | >>> | *[Nassor 2001]* |
| | | | Lahars | - | *[Soule 2011]* |
| | | | Autres aléas | Cheveux de Pele : *[BRGM 2008]* | - |
| | Evaluation de la vulnérabilité | Connaissance des enjeux | | *[Conseil Régional de La Réunion 2010]* >>> *(BRGM)* | *[Nassor 2001]* |
| | | Cartographie de l'exposition | | *Morin* (cette thèse, page précédente) | *[Nassor 2001]* |
| | | Cartographie de la vulnérabilité | | - | - |
| | Croisement aléas / enjeux | Scenarii d'endommagement | | >>> | - |
| | | Cartographie du risque | | >>> | *[Nassor 2001]* |
| **Mitigation du risque** | Maîtrise des aléas | Parades actives | | - | - |
| | Maîtrise des enjeux | Maîtrise de l'occupation du sol | | *[Conseil Régional de La Réunion 2010]* | - |
| | | Relocalisation des enjeux | | - | - |
| | Réduction de la vulnérabilité | Parades passives contre les aléas | | - | |
| | | Information préventive | | >>> | *[Morin et al. 2009]* |
| | | Vigilance, prévision, alerte | | *[Bachèlery 1999]* | |
| | | Gestion de crise | | >>> | *[Morin et al. 2009]* |
| | | Evacuation | | *[Préfecture de La Réunion 2005]* | - |
| | | Système assurantiel | | *[Calvet et Grislain-Letrémy 2010]* | - |

Dans l'absolu La Réunion est dotée d'instances et d'outils puissants qui pourraient laisser penser que la gestion des risques est globalement bonne à tous les niveaux. L'île bénéficie des avancées de la politique nationale française en matière de gestion des risques et d'une expérience riche en matière de gestion du risque cyclonique. Toutefois, notre classification qualitative de l'existant tient compte d'une expérience du terrain doublée de la prise en compte de l'avis des administrés sur certaines questions (l'information préventive existe mais est-elle reçue ? Comment sont vécues et jugées les gestions de crise, évacuations, etc. ?). En termes quantitatifs la Grande Comore n'a rien à envier aux modes de gestion du risque en place à La Réunion. Le manque de moyens humains et techniques nuit néanmoins à leur qualité, tant en termes de réalisation (évaluations du risque, cartographies) que d'applicabilité sur le terrain (alerte, gestion de crise, évacuation, assurances). Par ailleurs, la quasi-totalité des mesures mises en place est calquée sur le système français alors qu'elles ne sont pas toujours adaptées au contexte local. Les paragraphes ci-dessous doivent permettre d'éclairer les critères énoncés dans le Tableau 4.

- **Evaluation du risque**

Certaines limites dans le domaine de la connaissance et de la cartographie des aléas ont été pointées au cours de ce chapitre (cf. 2.1). Alors que le Piton de la Fournaise est l'un des volcans les mieux instrumentés et étudiés au monde, la cartographie des aléas est encore très imparfaite. La petite échelle des cartes présentées (massif de la Fournaise dans le DDRM [BRGM 2008] et cartographie par bassins de risque dans l'Atlas des Risques Naturels de La Réunion [BRGM 2003a, b, c, d]) leur retire tout potentiel d'aide à l'aménagement du territoire ou à la gestion de crise (cette remarque est également valable pour la Grande Comore). Elles n'intègrent pas, par exemple, les variations topographiques locales telles que les ravines susceptibles d'orienter des coulées. Les cartes du DDRM sont par ailleurs caduques : basées sur les travaux de Stieltjes [1990], elles n'ont pas été actualisées depuis alors que la connaissance des zones d'aléa a évolué. Des travaux plus récents ont permis d'établir une cartographie révisée de l'aléa magmatique non publiée à ce jour [Mairine et Crozet in prep.]. Elle prend en compte l'aléa pluricentennal qui concerne les communes de Saint-Benoit, Saint-Joseph et les Plaines (Figure 23). Enfin, l'échelle d'intensité présentée sur la cartographie des cheveux de Pele (Figure 18) n'est qu'un indicateur relatif : elle ne correspond à aucune valeur concrète.

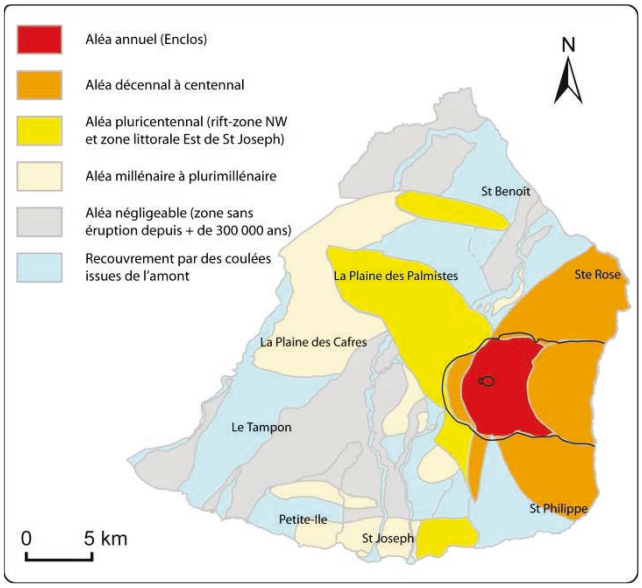



*Figure 23 - Cartographie de l'aléa coulées de lave et recouvrement par des coulées (Mairine & Crozet, travaux in prep., version 2009, com. pers.)*

La connaissance du passé éruptif et du fonctionnement du Karthala sont plus limités du fait de l'absence d'archives anciennes dans cette société de tradition orale et du faible nombre d'éruptions survenues sous instrumentation. La connaissance des aléas est de fait réduite. Le zonage de l'aléa magmatique [Nassor 2001] repose sur un critère de fréquence éruptive qui demande à être enrichi des éruptions survenues depuis et de celles disponibles dans la bibliographie. Le pas du MNT utilisé pour modéliser les écoulements et aider au zonage de l'aléa ne peut par ailleurs être considéré comme satisfaisant pour contribuer à un zonage précis de l'aléa. L'évaluation de l'aléa « retombées pyroclastiques » n'intègre pas les variations périodiques de direction des vents. La direction des vents indiquée par Nassor [2001] est fonction des isopaques des dépôts anciens, de la direction prise par certains panaches et des connaissances météorologiques. Il indique des vents dominants de SE. Or, Guébourg [1995] fournit des histogrammes de fréquence des secteurs de vents comoriens qui soulignent la primauté du kusi (vent de SO, 70% des vents, de mai à août) sur les autres vents. Enfin, la carte des lahars proposée par Soule [2011] n'est pas à proprement parler une cartographie de l'aléa, les chenaux d'écoulement potentiels en cas de nouvelle éruption explosive n'étant pas pris en compte.

La connaissance et la cartographie du risque sont également très incomplètes. A La Réunion, la cartographie de l'exposition présentée Figure 21 est entreprise à l'échelle communale, sans aucun détail sur la localisation ou la nature des enjeux, pourtant bien connues. Les scenarii d'endommagement par des coulées de lave sur des secteurs précis [Van de Casteele 2006] ne prennent en compte que les enjeux directement recouverts sans évoquer les facteurs de vulnérabilité ou endommagements indirects. Enfin, en dépit des nombreux acteurs engagés sur la thématique du risque volcanique à La Réunion, à ce jour, il n'en existe pas de cartographie.

En Grande Comore, la connaissance des enjeux est excellente à l'échelle communautaire (échelle à laquelle sont gérées la plupart des politiques d'aménagement), beaucoup moins à l'échelle insulaire. Leur exposition est envisagée dans des cartes par nature d'enjeux et par type d'activité éruptive [Nassor 2001], directement condensées en carte de risque sans prise en compte des vulnérabilités.

- **Mitigation du risque**

L'absence de maîtrise des aléas est commune à l'ensemble des territoires soumis au risque volcanique. Elle revêt donc un caractère « normal » dans chacune des deux îles. Des parades passives sont en revanche utilisées en Grande Comore lors des éruptions entraînant des retombées de cendres avec la couverture préventive des citernes[59]. La maîtrise de l'occupation du sol est délicate. A La Réunion, le PPR Volcan rendu possible par la loi Barnier n'a pas été mis en place, du fait d'un risque volcanique globalement faible. Le risque volcanique n'est donc pas pris en compte dans les SCOT ou les PLU. L'explosion des prix du foncier ces dernières décennies a entraîné un étalement urbain vers les marges, y compris vers les rift-zones SE et NE. Le recours aux PPR inondations devrait toutefois éviter à l'avenir l'implantation d'enjeux dans les zones à plus forte propension d'endommagement puisque les coulées de lave suivent pour l'essentiel les mêmes lignes de pente que les crues. La maîtrise de l'aménagement est beaucoup plus problématique en Grande Comore, en témoignent la macrocéphalie de Moroni dans une zone exposée à l'aléa volcanique, et l'explosion urbaine informelle ou non.

L'information préventive, censée favoriser l'adoption de bons comportements face aux risques et aux crises, est globalement bien développée à La Réunion. En France, l'article L.125-2 du Code de l'Environnement indique que « les citoyens ont droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont

[59] Sans réflexion préalable sur les problèmes sanitaires favorisés par la « mise en étuve » (croissance des germes et parasites).

soumis dans certaines zones du territoire et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent ». A l'échelle départementale, l'Etat est tenu d'établir un Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM ; article L.125-11 du Code de l'Environnement) offrant une description des risques, mesures de prévention et de sauvegarde prises pour y faire face, modalités d'alerte et de secours. A La Réunion, le DDRM, en date de 1995, a été révisé en février 2008 (arrêté préfectoral n°403 ; [BRGM 2008]). Il est en accès libre sur internet, en préfecture, sous-préfecture et dans les mairies. Sa mise à jour est fixée à l'échéance 2013 par le Code de l'Environnement. A l'échelle communale, la maire est responsable de la réalisation d'un Document d'Information Communal sur les RIsques Majeurs (DICRIM ; article L.125-11 du Code de l'Environnement) synthétisant les mêmes informations que le DDRM à l'échelle de la commune. Il lui incombe également d'apporter à ses citoyens une information générale sur les risques naturels au minimum tous les deux ans (Art.L.125-2 du Code de l'Environnement). L'ensemble des DICRIM transmis volontairement par les mairies sont regroupés sur le site *www.bd-dicrim.fr*. Pour La Réunion, seuls ceux de La Possession et de Saint-Paul y sont répertoriés. La base GASPAR (Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels), gérée par l'Etat et disponible en ligne (*http://macommune.prim.net/gaspar/*), réunit par ailleurs l'ensemble des informations sur les documents à portée réglementaire et d'information préventive par commune. En 2011, ni le DICRIM de Saint-Philippe, ni celui de Sainte-Rose, les deux communes principalement concernées par le risque volcanique, ne sont disponibles. Selon [O2P ingénierie 2009], les DICRIM ne sont élaborés que pour la moitié des communes réunionnaises, « *mais l'amorce de chaque saison cyclonique permet de rappeler les conduites à tenir. Par conséquent, on peut considérer que les consignes de sécurité font l'objet d'une connaissance satisfaisante (comme en témoigne le faible nombre de victimes des catastrophes naturelles) mais que l'information préventive liée à la cartographie et à la mémoire des risques est actuellement insuffisante* ». C'est la raison pour laquelle nous qualifions la qualité de l'information préventive de moyenne (Tableau 4). Le site internet *www.risquesnaturels.re* mis en ligne en juin 2010 par la préfecture, la DEAL (ex-DDE) et le rectorat, devrait permettre de partiellement rectifier cette tendance. Il permet notamment aux particuliers de prendre connaissance des risques associés à une parcelle en renseignant son numéro, et rappelle les bons comportements à adopter face aux risques. Une partie du site est adaptée au jeune public. A l'inverse de La Réunion, il n'existe pas de contexte réglementaire régissant le droit à l'information des populations en Grande Comore. En 2006, il n'y avait eu que de courtes campagnes de sensibilisation menées par l'Observatoire Volcanologique du Karthala afin de demander le respect du réseau de surveillance, régulièrement vandalisé depuis 2000. Rien de spécifique n'avait été engagé sur le thème des risques et de leur gestion. Depuis, la mise en place de programmes - désormais révolus - par des partenaires internationaux a permis l'élaboration de campagnes d'information ponctuelles dans les communautés.

Le système assurantiel permet à La Réunion d'accéder à une indemnisation en cas de pertes immobilières ou mobilières liées à l'occurrence d'une éruption volcanique déclarée « Catastrophe Naturelle ». Des fonds de secours spéciaux permettent par ailleurs d'indemniser les pertes agricoles par exemple. En Grande Comore le système assurantiel, informel, réside dans les dons liés à la solidarité villageoise et dans les éventuelles interventions humanitaires post-catastrophe.

Les questions relatives à la gestion des crises volcaniques (vigilance, prévision, alerte ; gestion de crise ; et évacuations) seront largement développées en Chapitres IV et V. La Réunion dispose d'excellentes capacités en la matière, que nous ramenons au niveau « moyen » dans notre synthèse en raison de la façon dont elles sont perçues par les administrés eux-mêmes (analyse présentée en Chapitre IV). En Grande Comore le manque global de moyens réduit considérablement l'ensemble de ces capacités.

La gestion des risques dans leur ensemble à La Réunion est critiquée par Le Masson et Kelman [2010] qui la considèrent comme étant beaucoup trop technocratique, donc à effets restreints.

### ❖ *Des dynamiques récentes communes aux deux îles*

Les deux îles ont bénéficié de nombreux projets en faveur de la réduction des risques naturels ces dernières années, pour certains encore en cours. Aux Comores, ils correspondent malheureusement à des actions ponctuelles réalisées par des partenaires locaux ou étrangers, essentiellement financées par les Nations Unies et l'Union Européenne. La mise en place des projets est le résultat d'une activité éruptive inhabituelle et/ou aux impacts étendus (éruptions de 2005, 2006 et 2007). Elle a permis une amélioration significative de l'information aux populations et des capacités de gestion de crise. Les projets aboutis et le volcan redevenu calme, la politique de réduction des risques volcaniques est à nouveau en veille. Seul un programme global de « Prévention et gestion des Risques naturels et des Catastrophes » porté par la Commission de l'Océan Indien (COI) a débuté en novembre 2011. Son « *ambition est de réduire de façon significative l'impact des catastrophes sur les sociétés et sur les économies, grâce à un cadre coordonné de coopération régionale et une implication forte des populations* » [COI 2011]. Il concerne également La Réunion.

La Réunion bénéficie actuellement, en plus de ce soutien régional, d'une dynamique nationale forte et pérenne. En France, la mise en mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (loi n°2009-967 du 3 août 2009) implique un renforcement de la politique de prévention des risques naturels (article 39) en insistant sur l'importance de sa mise en place Outre-Mer d'ici 2015 (article 44). La forte exposition de La Réunion aux risques naturels est d'ailleurs pour beaucoup dans la mise en œuvre de cette politique [MEDE 2011]. Les acteurs locaux ont été invités à faire remonter leurs attentes et propositions de façon à pouvoir intégrer les spécificités ultra-marines aux politiques nationales. Leur concertation, débutée en septembre 2009 à La Réunion, a abouti à la validation en 2011 d'un Schéma de Prévention des Risques Naturels[60] par le Conseil Départemental de la Sécurité Civile et des Risques Naturels Majeurs. Il doit permettre d'améliorer :

- la connaissance, la surveillance et la prévision des phénomènes ;
- l'évaluation des enjeux et vulnérabilités pour mettre en place des politiques d'aménagement du territoire et de mitigation ;
- l'information et l'éducation des populations et décideurs en matière de risques, le développement d'un réseau d'observateurs de terrain pour une meilleure véhiculation de l'information ;
- et la réalisation de retours d'expériences après chaque événement [SOGREAH 2010, 2011].

Dans ce contexte, un projet « Evaluation du risque volcanique à la Réunion et prise en compte dans la gestion de crise » financé par l'Etat a été lancé en 2011. L'OVPF est chargé d'une analyse des phénomènes historiques depuis - 4000 ans et d'une enquête auprès des populations riveraines afin d'identifier des scenarii à prendre en compte pour l'actualisation des dispositions ORSEC spécifiques Volcan. Le BRGM couvre l'inventaire des enjeux, l'analyse de leur vulnérabilité et des scenarii d'endommagement. Parallèlement, des actions en matière de sensibilisation des populations ont été élaborées. La DDE a créé en 2010 le site *www.risquesnaturels.re* notamment afin de faciliter la consultation des cartographies liées aux risques naturels. En 2011, la PIROI a mis en place le programme « Paré pas Paré » pour appuyer les institutions dans la sensibilisation au risque. L'enquête menée dans ce cadre auprès de 806 Réunionnais révèle que 15% des répondants avaient connaissance de ce site internet

[60] SPRN : Document d'orientation quinquennal fixant des objectifs généraux à partir d'un bilan et définissant un programme d'actions (Art. R. 565-1 du Code de l'Environnement), tenu à la disposition du public à la préfecture et dans les sous-préfectures.

seulement quelques mois après sa création. Le programme a débouché sur la mise en place d'une campagne d'information (*http://reunion.la1ere.fr/partenaires/campagne-de-prevention-aux-risques-naturels_73184.html*) et en octobre 2011 sur des Assises Régionales des Risques Naturels ayant vocation à réunir tous les acteurs de la gestion des risques.

Les failles pointées en Tableau 4 devraient donc être largement comblées en 2012 à La Réunion, et des améliorations significatives être apportées aux Comores au cours des prochaines années.

### 2.3.2. Une analyse du risque et des crises volcaniques encore inconsistante

#### ❖ *Bilan des travaux scientifiques établis sur le risque volcanique*

Contrairement aux nombreuses études portant sur le fonctionnement physique des édifices, celles s'intéressant aux risques et plus encore celles traitant de la vulnérabilité et de la gestion des risques à La Réunion et en Grande Comore sont peu nombreuses.

Les ouvrages remarquablement didactiques de Mairine [Mairine 2006 ; Mairine *et al.* 2010], les récentes synthèses proposées dans les ouvrages de Richet *et al.* [2007] et Dubois [2007], comme l'ensemble des documents sur le risque volcanique à La Réunion produits à ce jour par le BRGM, l'IPGP et l'OVPF, abordent la question des risques par le biais de l'aléa. Villeneuve et Bachèlery [2006] se démarquent en établissant une analyse du risque prenant en compte les enjeux. L'article reprend pour l'essentiel les travaux de Bachèlery [1999], et de Villeneuve [2000] qui propose des scenarii d'endommagement à petite échelle basés sur des modélisations d'écoulements de lave - travaux approfondis depuis par Van de Casteele [2006] -. Villeneuve *et al.* [2006] mettent en évidence la nécessité d'une meilleure connaissance et gestion des risques volcaniques à La Réunion comme en Grande Comore, en soulignant l'intérêt des études de vulnérabilité et des campagnes d'information prenant en compte les représentations et demandes des populations. Mas et Leone [2009] introduisent cette dimension sociologique du risque en étudiant les représentations mentales du risque par les populations menacées à Sainte-Rose et Saint-Philippe. Récemment, Le Masson et Kelman [2010] se sont aussi penchés sur la place des vulnérabilités de la société réunionnaise dans la gestion des risques, en soulignant l'importance des aléas de faible intensité mais très fréquents dans l'analyse des risques. Leur étude sera prochainement complétée par une thèse sur les déterminants de la vulnérabilité humaine face au risque volcanique en milieu insulaire [Mas 2012].

En Grande Comore, Krafft [1982, 1983] est le premier à aborder la question des risques en témoignant de l'impact des éruptions et des réactions des populations. Bachèlery et Coudray [1993] proposent une première *carte de risque* qui est en réalité une carte d'aléa. Bachèlery [1999] dresse ensuite une synthèse aléa-centrée du risque. Il faut attendre les travaux de Nassor [2001], et Nassor & Soule [PNUD 2002] pour découvrir une analyse des risques centrée sur les enjeux. Morin et Lavigne [2009] ont complété ces approches en proposant une analyse des facteurs de vulnérabilité qui rendent la gestion des crises volcaniques problématique.

#### ❖ *Une absence marquée de références sur la gestion des crises volcaniques*

La littérature sur les crises volcaniques proprement dites est tout aussi « superficielle » que celle traitant des risques. Villeneuve et Bachèlery [2006] évoquent succinctement la gestion de certaines crises de la Fournaise et des dispositifs en place pour y faire face. En revanche, Bertile [1987] livre une analyse très détaillée du déroulement de l'éruption hors-Enclos de 1986 en s'intéressant à ses impacts et à sa dimension opérationnelle. Payet *et al.* [2007] évoquent quant à eux les conséquences psycho-sociales de

l'éruption de 2007 et le sentiment d'abandon des populations. Enfin, Dubois [2007] consacre un chapitre de son ouvrage sur les volcans français d'Outre-mer à des conseils généralistes sur les conduites à tenir en cas de crise, destinés notamment aux élus. Ces trois dernières références ont en commun de montrer que des améliorations significatives sont nécessaires pour faire face convenablement aux crises volcaniques à La Réunion.

En Grande Comore, Chester [1993] évoque brièvement les capacités de réponse des Comores face aux éruptions volcaniques, montrant qu'elles sont très réduites. Soule [2003] insiste sur la nécessité qu'il y a à mettre en place un plan d'urgence pour la gestion des crises volcaniques à une époque où il n'en existait encore aucun. Morin *et al.* [2009] proposent un cas d'étude sur la gestion de l'éruption de 2006, parvenant à des conclusions relativement similaires à celles de Chester [1993]. Comme pour La Réunion, les pistes de progrès nécessaires sont mises en évidence. Elles reposent notamment sur une prise en considération et une résolution des problématiques qui sous-tendent les réponses des sociétés face aux crises volcaniques, ces problématiques étant aujourd'hui complètement négligées.

Cette thèse entend combler en partie ces manques. Les prochains chapitres seront consacrés à l'explication de notre démarche méthodologique, puis à des cas d'étude permettant de mesurer les avancées accomplies et les efforts qu'il reste à engager pour optimiser les réponses des sociétés face aux crises volcaniques à La Réunion et en Grande Comore.

# Chapitre III - Approche méthodologique

Le Karthala par Bahia, en CM2 à Wellah, mai 2007.

# Chapitre III - Approche méthodologique

Ce chapitre expose la méthodologie utilisée au cours de la thèse :

- dans un premier temps nous décrivons les méthodes permettant d'analyser les capacités théoriques de réponse des institutions et populations face aux crises volcaniques ;
- dans un second temps, celles permettant d'analyser leurs réponses effectives en temps de crise.

La logique de présentation au sein de chaque thématique est en premier lieu géographique pour mettre en évidence les points communs et variations entre méthodologies appliquées à La Réunion et en Grande Comore. L'adaptation aux contextes locaux (spécificités des aléas, données et temps disponibles, exigences des partenaires, opportunités) a en effet impliqué certains ajustements de la méthodologie commune initialement fixée. En seconde intention, la présentation est opérée chronologiquement, en restituant l'évolution des méthodes envisagées en fonction des données et résultats obtenus ou non.

L'enquête constitue la méthode centrale de ce travail. Doublée d'observations de terrain, elle permet d'appréhender rétrospectivement et prospectivement les processus qui fondent l'endommagement subi par les enjeux lors d'une crise volcanique et les réponses des différents acteurs[61]. Pour mener à bien notre analyse nous avons réalisé plusieurs campagnes d'enquête à La Réunion et en Grande Comore. Un code a été attribué à chacune d'elles pour y faire référence de façon simplifiée dans le texte (0).



## 1. REPONSES DES INSTITUTIONS ET POPULATIONS FACE AUX CRISES VOLCANIQUES : ANALYSE DES CAPACITES THEORIQUES

L'analyse des réponses théoriques des institutions et populations face aux crises volcaniques est indispensable pour mettre en évidence des carences éventuelles de planification d'une part, des difficultés ou impossibilités d'applicabilité d'autre part (en lien avec les ressources effectivement disponibles et la prise en compte de la dimension officieuse de la gestion des crises). Elle permet également d'établir un référentiel de la façon dont la gestion des crises est censée se dérouler, qu'il est possible de comparer avec la façon dont elle se produit réellement (REX présentés en 2). On peut alors analyser les différences observées pour proposer des améliorations de la gestion des crises en conservant les éléments positifs et en éliminant les dysfonctionnements. Cette recherche de perfectionnement doit tenir compte des facteurs qui conditionnent les réponses apportées pour faire face aux crises : la perception du risque et l'accès aux ressources.

### 1.1. MODES THEORIQUES DE GESTION DE CRISE PAR LES INSTITUTIONS

L'analyse des modes théoriques de gestion par les institutions repose sur :

- la constitution d'un répertoire des acteurs institutionnels impliqués en mettant en évidence leur rôle, les moyens dont ils disposent, et les relations qu'ils entretiennent avec les autres acteurs (collaboration, neutralité, concurrence, conflit…) ;

[61] Ces réponses relèvent des trois paradigmes présentés en chapitre 1 : le paradigme dominant, selon lequel la perception des risques permet d'expliquer les comportements adoptés face au risque, et le paradigme radical, selon lequel ces comportements sont liés à des facteurs structurels d'ordrequi déterminent les moyens disponibles

- une synthèse des mesures de préparation et de gestion de crise (planification, alerte, communication) et des mesures de retour à la normale post crise (évaluation, indemnisations ou aides, restauration) ;
- une réflexion sur l'applicabilité de ces mesures au regard des moyens disponibles, des relations entre acteurs, du contexte global de vulnérabilité ;
- l'observation et l'analyse des processus officieux de prise de décision au niveau institutionnel local, parfois éloignés de ceux décrits dans la planification, en particulier en lien avec le pouvoir coutumier qui s'exerce aux Comores.

Pour ce faire, deux méthodes ont été adoptées.

### 1.1.1. Synthèse des documents officiels disponibles

Les textes et documents officiels, de même que la bibliographie scientifique traitant de la gestion des crises, ont été synthétisés pour restituer les modalités de gestion et leur évolution éventuelle au cours des dernières décennies. Deux documents majeurs ont servi de support à ce travail : le Plan ORSEC Volcan à La Réunion [Préfecture de La Réunion 2005] et le Plan National de Préparation et de Réponse aux Urgences en Grande Comore [Union des Comores 2007]. Nous nous sommes également appuyés sur les documents relatifs à la gestion des risques déjà évoqués en Chapitre II et synthétisés en Tableau 5, dans la mesure où ils permettent théoriquement d'optimiser en amont l'évitement des crises ou le bon déroulement de leur gestion.

*Tableau 5 - Documents consultés pour l'analyse des modes théoriques de gestion*

| Thématique | Echelon | La Réunion | Grande Comore |
|---|---|---|---|
| **Planification de la gestion de crise** | National | | PNPRU ; Plan Karthala |
| | Départemental | Plan ORSEC Volcan | |
| **Gestion de crises passées** | International | Bibliographie scientifique ; Presse | Bibliographie scientifique ; Presse |
| Evaluation des aléas | National | Bibliographie scientifique | Bibliographie scientifique |
| | Départemental | Atlas Départemental des Risques Naturels Majeurs ; DDRM | |
| Maitrise des enjeux | Régional | Schéma d'Aménagement Régional | |
| Information préventive | National | Programmes scolaires | Programmes scolaires |
| | Départemental | Dossier Départemental sur les Risques Majeurs | |
| | Communal/ Communautaire | BD DICRIM ; Base GASPAR | |
| Gestion globale du risque | Départemental | Schéma de Prévention des Risques Naturels | |
| Tous domaines confondus | Apports des organismes internationaux | Cadre d'Action de Hyogo | Programmes ponctuels |

### 1.1.2. Entretiens auprès des gestionnaires

Une trentaine d'entretiens semi-directifs avec les acteurs civils et militaires aux échelles internationale, régionale / zonale, nationale, départementale / insulaire, et communale/ communautaire a par ailleurs été menée sur les deux îles pour appréhender les modes théoriques de gestion. Nos principaux interlocuteurs

(dont une liste est dressée en Annexe 4) sont issus des instances gouvernementales, institutions internationales, représentations consulaires, ONG, organismes scientifiques et médias. Ces entretiens doivent permettre de comprendre les modalités de la gestion théorique autant que les facilités et difficultés d'application rencontrées par chacun des acteurs (Tableau 6). Une centaine d'entretiens a ainsi été menée sur les deux îles. L'intérêt généré par l'éruption de mai 2006 a aidé à organiser de nombreuses rencontres officielles aux Comores, tandis qu'à La Réunion l'effet de l'éruption d'avril 2007 a été beaucoup plus mitigé, certains acteurs hésitant à répondre aux entretiens après une gestion de crise contestée par les médias et les populations.

En Grande Comore, ces entretiens ont également été l'occasion de dresser des schémas d'organisation communautaire dans dix villages en interrogeant les maires, chefs de village, volontaires du Croissant Rouge Comorien et villageois. Nous avons ainsi cherché à savoir qui prend les décisions dans les communautés, à qui les villageois font confiance, comment sont transmises les décisions. La gestion des crises s'appuie en effet sur ces réseaux informels non pris en compte dans la planification nationale des crises.

*Tableau 6 - Grille d'entretien auprès des acteurs institutionnels pour l'analyse de la gestion théorique et de son applicabilité*

| **Thèmes abordés** | **Précisions pouvant faire l'objet de relances** |
|---|---|
| Rôle joué dans la gestion / champs d'intervention | Préparation / traitement de la crise / de la post-crise |
| Cadre des actions | Législatif / réglementaire / informel |
| | Coordination interne et externe |
| Moyens disponibles | Humains / matériels / techniques / financiers / législatifs |
| Relations avec les autres acteurs en interne et externe | Connaissance des intervenants / de leur rôle |
| | Intérêts communs / coordination / conflits d'intérêt |
| | Nature des relations / communication |
| Accès à l'information pré, syn et post crise | Vecteur d'information |
| | Permanence / difficultés d'accès |
| Connaissances de l'interviewé | Système de gestion de crise / acteurs |
| | Modalités de transmission des alertes |
| | Comportements à adopter en fonction des différents niveaux d'alerte |
| Perception du risque par l'interviewé | Représentations de la menace et des capacités de gestion[62] |
| Principales difficultés rencontrées dans la mise en œuvre de la politique de gestion | Humaines / matérielles / techniques / financières / législatives |
| | ⇨ Possibilité d'assurer les missions / ou non ? |
| Améliorations à apporter pour optimiser la gestion de crise | Propositions d'améliorations |
| | Programmées / non programmées |
| | Facilement réalisables / difficilement réalisables |

[62] Les acteurs institutionnels gèrent la crise au nom de leur institution d'appartenance, mais sont également soumis, à titre individuel, à l'influence de leurs propres perceptions. On s'intéresse ici aux mêmes critères que ceux pris en compte pour la compréhension des réponses des populations : sentiment de menace, expérience, confiance dans les capacités de gestion, etc. Le mot « représentations » est utilisé au sens large.

## 1.2. REPONSES POTENTIELLES DES POPULATIONS A TRAVERS L'ETUDE DES REPRESENTATIONS

### 1.2.1. Des enquêtes sur les représentations destinées à comprendre et anticiper les réponses des populations face aux éruptions volcaniques

#### ❖ *Fondements de l'enquête*

Les auteurs du paradigme dominant considèrent qu'une « bonne » perception des risques rime généralement avec un « bon » comportement face au danger tandis qu'une « mauvaise » perception des risques conduit à des comportements inadaptés (cf. note de bas de page 61). La qualité des réponses en cas de future crise volcanique peut partiellement[63] être évaluée par enquête de perception auprès d'un échantillon représentatif de la population. Nous avons donc conçu des questionnaires et grilles d'entretien dans la lignée des travaux initiés par D'Ercole [D'Ercole et Rancon 1994 ; D'Ercole 1996] et adoptés depuis par de nombreux auteurs issus des sciences sociales et exactes, en particulier ces cinq dernières années [Dove 2007 ; Barberi *et al.* 2008 ; Carlino *et al.* 2008 ; Chester *et al.* 2008 ; Dibben 2008 ; Dove 2008 ; Gaillard et Dibben 2008 ; Gregg *et al.* 2008 ; Paton *et al.* 2008 ; Perry et Lindell 2008 ; Bird *et al.* 2009 ; Gavilanes-Ruiz *et al.* 2009 ; Leone et Lesales 2009 ; Mas et Leone 2009 ; Bird *et al.* 2010 ; Johannesdottir et Gisladottir 2010 ; Bird *et al.* 2011]. Ces supports d'enquête sont destinés à tester le niveau d'accès à l'information, les connaissances liées aux éruptions en termes de risque, d'alerte, de conduite à adopter et d'acteurs, les intentions d'action en cas de future éruption, les opinions sur la qualité de la gestion des crises et les capacités des autorités et communautés à faire face à la menace volcanique, etc.

#### ❖ *Organisation des enquêtes*

Les campagnes d'enquête n'ont pas été menées aux mêmes échelles dans les deux îles : alors que l'ensemble de la Grande Comore a été investigué, seules les communes de Sainte-Rose et Saint-Philippe l'ont été à La Réunion. Cela tient à notre analyse du risque et aux observations menées en pré-enquête. Dans les deux îles, les zones les plus exposées à la menace volcanique ont été sélectionnées. En Grande Comore, les déplacements massifs de population jusque dans les zones peu exposées posent un problème majeur d'organisation de la gestion de crise. Il est donc intéressant de comprendre comment les populations de ces zones d'accueil sont elles-mêmes prêtes à faire face en cas d'événement majeur.

Sur la forme, nous avons veillé à employer un vocabulaire adéquat, accessible aux interviewés. Des questions fermées (à choix binaires ou multiples) et ouvertes ont été posées en alternance. Des approches graphique et cartographique ont par ailleurs été adoptées.

Pour faciliter le traitement des questions ouvertes, les questionnaires comportent des modalités de réponse prédéfinies (à partir des repérages et pré-enquête), réservées à l'interviewer, qui transcrit le discours en modalités existantes ou ajoute des modalités au besoin.

#### ❖ *Thèmes communs aux enquêtes*

Entretiens et questionnaires se sont focalisés sur un certain nombre de thèmes fondamentaux pour la compréhension des réponses face à la menace volcanique :

- les contraintes vécues au quotidien (pour déterminer ces contraintes tout en quantifiant le taux de citation de la menace volcanique par rapport aux autres menaces) ;

[63] Le comportement des populations en temps de crise étant sous-tendu par de nombreux facteurs de vulnérabilité, le fondement des réponses aux enquêtes de perception ne peut être compris qu'en menant des enquêtes qualitatives complémentaires et au prix d'une bonne connaissance des réalités du terrain.

- la connaissance de l'histoire éruptive, des processus et aléas volcaniques et de leur probabilité d'occurrence, le sentiment d'exposition à ces aléas ;
- la spatialisation de la menace à l'échelle de l'île et de la communauté, dont l'utilité a été démontrée entre autres par D'Ercole [1996], Leone [2002] et Leone et Lesales [2009]. La représentation spatialisée du risque est particulièrement importante en Grande Comore dans la mesure où elle peut renseigner sur d'éventuels mouvements de population ;
- l'information reçue en temps normal et en temps de crise (fréquence, qualité), l'accessibilité des vecteurs d'information et les vecteurs sollicités par la population ;
- la connaissance des niveaux d'alerte, des procédures à suivre et comportements à adopter, le sentiment d'être capable de s'auto-protéger, la volonté d'implication dans des actions de réduction des risques ;
- les principaux problèmes posés par les éruptions, comportements adoptés lors des éruptions passées, et modifications de mode de vie et/ou de gestion du risque consécutives aux éruptions ;
- la confiance accordée aux institutions (gouvernement, scientifiques, médias, partenaires internationaux) et à leurs stratégies de gestion des risques ;
- l'organisation communautaire : liens entre villageois, organisation en temps de crise (personnes prenant les décisions sur les conduites à adopter, moyens communautaires mis en place en cas d'éruption, lieux de rassemblement prédéfinis), et défaillances observées lors des derniers événements ;
- un certain nombre de variables sociodémographiques (sexe, âge, niveau d'éducation, statut professionnel, revenus, biens possédés, qualité de l'habitat, accès à l'eau et aux ressources, appartenance religieuse, etc.). Ces informations personnelles sont généralement posées en fin d'interview pour éviter de brusquer les participants en leur donnant l'impression d'une intrusion dans leur intimité.

#### ❖ *Un point focal : l'information*

Nous postulons que l'information reçue (officielle ou officieuse, préventive ou de crise) est un facteur essentiel dans l'élaboration des perceptions et l'adaptation des comportements. Un des objectifs de la thèse est d'ailleurs d'offrir une meilleure définition des besoins en matière de supports d'information à destination de la population. Pour cela, nous nous interrogeons sur le contenu et les vecteurs d'information sollicités par les populations, questions et confusions les plus courantes, etc. Nous avons donc accordé une importance particulière à cette thématique dans nos enquêtes.

En parallèle des enquêtes, nous avons répertorié et critiqué sur le fond comme sur la forme l'ensemble des supports d'information visibles et audibles dédiés à la prévention des risques. Selon Mileti [1995], il y a plus de chances que l'information soit bien assimilée si elle est claire, précise, logique, personnellement délivrée, répétée, et confirmée par plusieurs sources officielles. Nous cherchons à vérifier si c'est le cas sur les terrains que nous étudions. Les moyens d'information matériellement présents in situ tels que les panneaux d'information ont été photographiés, géoréférencés, et une réflexion muséographique menée sur l'agencement des supports entre eux. Au contraire de La Réunion où elles sont diffusées dans les médias, documents officiels, sur les sites volcaniques, et dans un musée dédié, les informations sont quasi inexistantes en Grande Comore.

### 1.2.2. Enquête dans les communes de La Réunion les plus exposées aux aléas volcaniques

#### ❖ *Echantillonnage*

La gestion du risque volcanique à La Réunion revêt une double dimension de protection des populations riveraines et de gestion des flux de visiteurs. Notre intérêt s'est donc porté vers ces deux publics. Le choix des localités à enquêter s'est alors naturellement imposé, les communes de Saint-Philippe et Sainte-Rose englobant les quartiers habités les plus exposés aux aléas volcaniques et l'ensemble de l'Enclos du volcan (où se concentrent généralement les éruptions observables et les randonneurs). Malgré l'intérêt que cela représentait, nous avons renoncé à étendre l'enquête à St-Benoît, la Plaine-des-Palmistes, le Tampon, St-Pierre, St-Joseph et Petite Ile, communes menacées par des aléas volcaniques d'occurrence pluri-centennale et plus. De nouvelles campagnes de terrain étaient matériellement irréalisables du fait de leur caractère chronophage. Une diffusion du questionnaire sur le site internet de l'OVPF a été envisagée mais la charge de travail consécutive à l'éruption de 2007 empêchait le responsable des réseaux de l'observatoire d'endosser un tel projet en 2008. Seules des discussions informelles, tout de même riches d'enseignements, ont été menées dans ces communes.

Nous avons fait le choix d'enquêtes quantitatives via questionnaire. Nous nous intéressons ici à l'enquête auprès des riverains[64]. La structure de la population étant connue dans la zone étudiée, l'échantillonnage a été réalisé à partir de la méthode des quotas croisés, en prenant pour critères l'âge, le sexe, et la catégorie socioprofessionnelle des répondants fournis par l'INSEE [1999]. Les résultats pour Sainte-Rose et Saint-Philippe sont très similaires avec environ :

- 49% de femmes pour 51% d'hommes ;
- 38% de 0-19 ans, 32% de 20-39 ans, 19% de 40-59 ans et 11% de personnes de 60 ans et plus ;
- 5% d'agriculteurs, 2% d'artisans, 1% de cadres, 4% de professions intermédiaires, 21 % d'employés, 18% d'ouvriers, 9% de retraités et 40% d'inactifs.

#### ❖ *Passation des enquêtes*

Trente entretiens auprès des villageois et institutionnels ont été menés en phase de pré-enquête. Ils ont permis l'élaboration d'une première version du questionnaire, testée auprès de huit personnes en respectant les quotas par âge et sexe. Quelques modifications mineures ont été adoptées pour clarifier certaines questions. Le questionnaire final est composé de 76 questions et relances, dont 54 questions fermées et 22 ouvertes (dont quatre cartographiques). L'enquête menée à La Réunion intègre, en plus des thèmes communs aux deux îles précédemment énoncés, une réflexion sur la question de l'accès aux sites éruptifs, essentielle au Piton de la Fournaise.

Cent questionnaires ont été administrés, répartis pour moitié entre Sainte-Rose et Saint-Philippe, en prenant soin d'investiguer des quartiers répartis sur l'ensemble des territoires communaux (Figure 24, Annexe 5). Sur les onze quartiers soumis à l'enquête, Piton Sainte-Rose, Bois Blanc, le Tremblet et Takamaka ont été touchés par des éruptions ces dernières décennies. Une des questions qui s'est posée a été de savoir si le vécu des événements joue favorablement ou non sur la perception et le comportement des habitants de ces quartiers par rapport à ceux qui n'ont pas directement vécu d'événement. Bien que les enquêtes aient été réalisées en semaine comme le week-end pour toucher le public le plus large possible,

[64] L'enquête auprès des randonneurs a été menée en période de crise, elle est donc présentée ultérieurement dans les RETEX sur des événements récents.

quelques difficultés se sont posées pour respecter les quotas. Les personnes sans activité professionnelle et femmes au foyer étaient surreprésentées car facilement accessibles en journée tandis que les ouvriers et jeunes de moins de 19 ans, moins disponibles, étaient sous-représentés. Des enquêtes supplémentaires (n=17) ont donc été menées pour que l'échantillon soit le plus représentatif possible de la population parente, portant le nombre total de questionnaires administrés à 117.

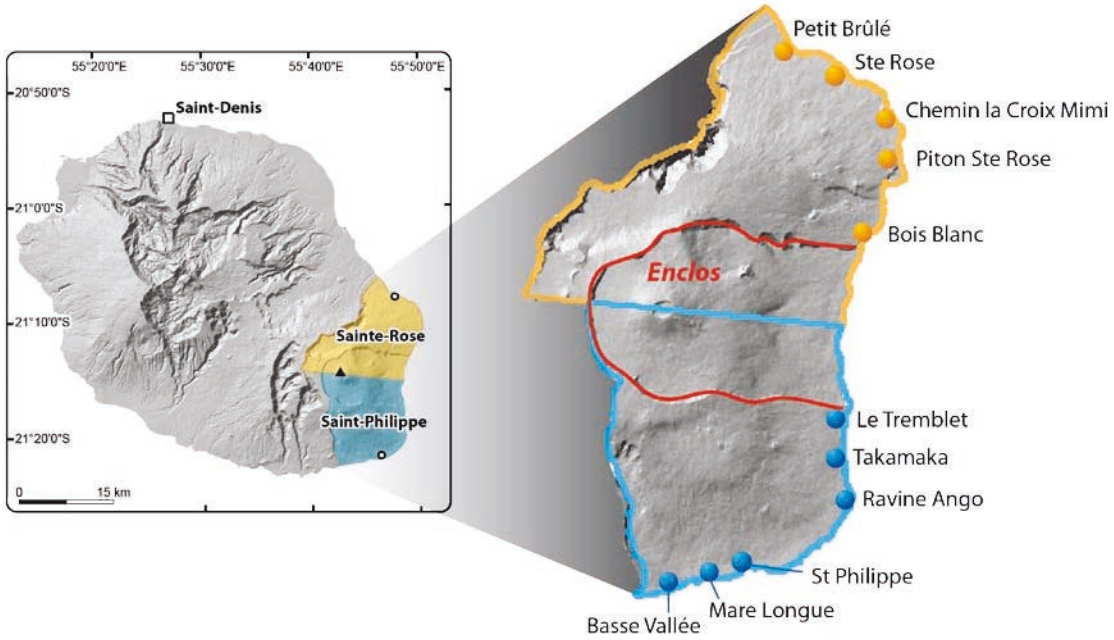



*Figure 24 - Quartiers enquêtés par questionnaire à Sainte-Rose et Saint-Philippe (E-RUN4, n=117)*

Les enquêtes ont été réalisées dans ou devant le domicile des personnes interrogées, sans que des personnes extérieures au foyer ne s'immiscent dans la discussion. Les questions ont été posées en français, les réponses apportées en français, créole, ou en mélangeant les deux langues, selon les préférences et possibilités d'expression des interviewés. Deux stagiaires de l'université de Strasbourg, Martine Bastian et Delphine Dumas, ont contribué en juin 2008 à la passation de l'enquête. Faute de temps ou d'envie, vingt personnes ont refusé de répondre, soit 14,6% des personnes interrogées. Ce taux de refus est défini comme acceptable dans la mesure où il est inférieur à 20% [Berthier 2006].

### ❖ *Traitement des données*

- **Données textuelles**

Les données « textuelles » ont fait l'objet de traitements statistique et lexical sous SPHINX (version PLUS²). Dans un premier temps, les questions ouvertes ont dû être fermées pour être analysables statistiquement. Pour accomplir cette phase de préparation des données, nous avons retenu au hasard 30 questionnaires sur les 117 de l'échantillon. Chaque question ouverte a été recodée en créant une variable nominale à choix multiple regroupant l'ensemble des réponses obtenues à la question dans les 30 questionnaires. Un formulaire de saisie intégralement composé de questions fermées a alors été généré sous SPHINX pour permettre la saisie rapide et l'analyse fiable des 117 questionnaires.

Une fois les données mises en forme, nous les avons analysées en commençant par effectuer des tris à plat[65] pour décrire chaque variable. Nous avons ensuite cherché à comprendre si les réponses obtenues pour chaque variable sont corrélées à d'autres variables étudiées. Nous avons par exemple recherché

[65] Le tri à plat est « le calcul de la distribution des effectifs et des pourcentages des modalités de réponse pour chaque question » [Berthier 2006]

l'ensemble des variables expliquant *a priori* un comportement donné face à une éruption. Pour cela, une analyse bivariée a été menée en utilisant des tris croisés. L'existence de dépendances entre variables et de leur intensité a été vérifiée par des tests de Chi2[66]. Nous avons renoncé à utiliser les outils statistiques multivariés tels que les analyses factorielles. L'objectif de nos enquêtes n'est pas de catégoriser les individus en fonction des comportements qu'ils adoptent, mais de comprendre les fondements des réponses adoptées face aux crises pour apporter des solutions globales de gestion de crise. Les données qualitatives tirées des observations et entretiens fournissent la meilleure base pour cette analyse, tandis que les statistiques bivariées se révèlent suffisantes pour mettre en lumière les rapports de causalité recherchés.

- **Données cartographiques**

Les données cartographiques ont été traitées sous MAPINFO PROFESSIONAL 7.8 en construisant une grille à un pas de 500 mètres couvrant l'île. Les répondants ont indiqué les espaces perçus comme menacés par différents types d'aléas volcaniques (coulées de lave, cheveux de Pele, cendres, et gaz). Ces espaces ont été reproduits sous MAPINFO et superposés les uns aux autres pour cartographier le taux de citation pour chaque pixel de la grille. On a distingué les répondants originaires de Sainte-Rose de ceux de Saint-Philippe pour pouvoir comparer la perception spatiale de la menace pour ces deux communes. Une carte par aléa et par commune a ainsi été produite.

### 1.2.3. Une enquête ambitieuse en Grande Comore en 2007

#### ❖ *Une pré-enquête fructueuse en termes de résultats et de partenariats*

- **Description de la pré-enquête**

Des campagnes de pré-enquête ont été menées en Grande Comore en mai-juin 2006, puis avril-mai 2007, associant des questionnaires en milieu étudiant à environ 180 entretiens libres à semi-directifs auprès des populations, autorités villageoises, insulaires et nationales, médias, responsables d'ONG, et d'institutions internationales. S'y sont ajoutées de très nombreuses discussions informelles (avec des passants rencontrés dans la rue, les transports, les commerces, au CNDRS, etc.) qui n'ont pas directement été intégrées aux résultats mais ont alimenté notre compréhension de la société grand comorienne. Le but de l'enquête était de valider un questionnaire à diffuser à l'échelle de l'île auprès d'un échantillon représentatif plus large pour poser les bases de la conception d'outils de sensibilisation face au risque volcanique. Les résultats de cette pré-enquête ont pour certains été publiés dans Morin *et al.* [2009] et Morin et Lavigne [2009].

Dans le détail, 135 questionnaires ont été remplis quatre jours après la fin de l'éruption de mai 2006 par des élèves et étudiants (de 19 ans en moyenne, à 61% des hommes, principalement originaires de Moroni et Mvouni). La décision de distribuer le questionnaire en milieu scolaire uniquement pour une première approche tient au fort taux d'illettrisme (43.8% selon MAEE [2007]) et à la possibilité de recueillir des données quantitatives en interrogeant simultanément un grand nombre de répondants. Le questionnaire a été conçu en deux volets. Le premier, composé de 14 questions, a servi à déterminer le sentiment d'exposition des répondants sur leur lieu de résidence et le type d'aléa considéré comme le plus menaçant. Les interviewés n'ont pas été prévenus que le questionnaire portait sur le Karthala, de manière à comprendre si la menace volcanique est spontanément prédominante, modérée ou inexistante dans leur

[66] Ce test consiste à mesurer l'écart entre une situation observée et une situation théorique et d'en déduire l'existence et l'intensité d'une liaison mathématique. On peut dresser une matrice des différences entre situation observée et situation théorique. Une forte différence positive représente une surévaluation de la réalité par rapport au cas théorique et vice versa.

discours. Le second volet, composé de 31 questions, porte sur les représentations du Karthala et risques associés, intégrant les questions décrites en méthodologie générale (Chapitre III, 1.2.1, p.92). Nous sommes restés avec les répondants pendant qu'ils remplissaient le questionnaire pour nous assurer que le protocole était bien respecté en ne permettant pas de communication entre les répondants de façon à obtenir des participants uniquement des réponses individuelles. En parallèle, un entretien dirigé (grille de 18 questions) a été réalisé avec leur enseignant afin de cerner une éventuelle influence du contexte éducatif sur les réponses des élèves. La démarche s'est soldée par un « brainstorming » avec l'ensemble des répondants, à qui il a été demandé de formuler des critiques à l'égard du questionnaire en vue d'un développement ultérieur à l'échelle de l'île. Cela a permis de reformuler certaines questions en affinant le vocabulaire employé et en supprimant par exemple les échelles de classement, dans l'ensemble mal comprises.

Dans le même temps, nous avons interviewé des chefs de village, maires et cinquante résidents représentatifs de la population comorienne (parité homme/femme, 48% de 20-35 ans, 36% de 35-50 ans et 16% de 50-65 ans) dans neuf localités réparties sur le massif du Karthala (Figure 25). Certains des entretiens réalisés dans le cadre de l'analyse des capacités institutionnelles ont également apporté des éléments sur les réponses des populations (comportements lors des crises passées, facteurs censés conditionner les réactions, etc.).

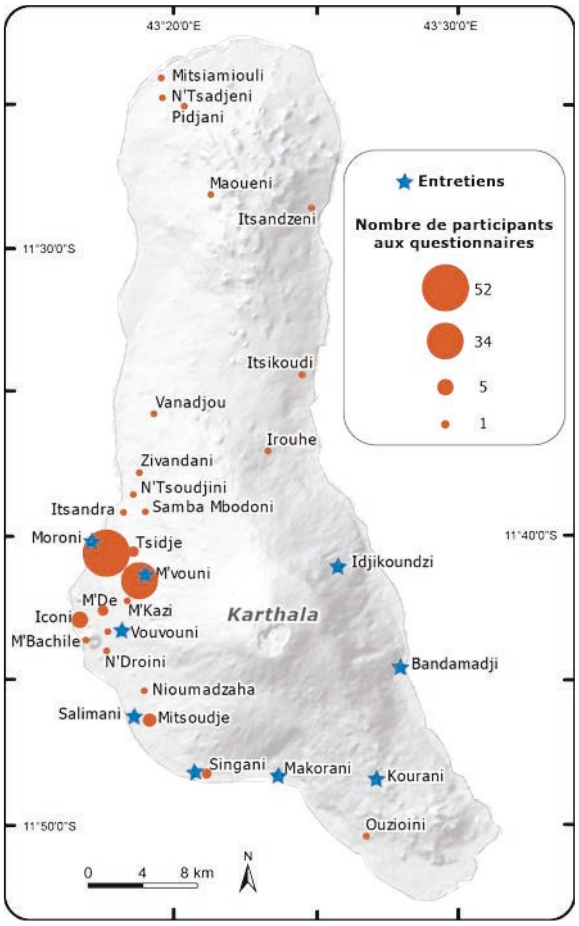



*Figure 25 - Localisation des pré-enquêtes réalisées en Grande Comore en 2006*

- **Constitution d'un réseau de partenaires**

Les travaux de pré-enquête ont conduit à prendre contact avec le Centre des Opérations de Secours et de Protection Civile des Comores (COSEP), la Croix Rouge Française (CRF), le Croissant Rouge Comorien (CRCo), le Ministère de l'Education d'Union des Comores, le Service de Coopération et d'Action Culturelle de l'Ambassade de France à Moroni (SCAC), et les Nations Unies (PNUD et OCHA), pour mieux comprendre leurs rôles respectifs dans la gestion des risques et crises. Presque tous souhaitaient justement monter des projets de réduction du risque volcanique en Grande Comore intégrant des actions de sensibilisation et de planification des urgences. Ils se sont naturellement montrés intéressés par l'idée d'une collaboration. Le travail de thèse alimenterait le cœur de la réflexion nécessaire à la mise en place des projets (enquêtes de perception sur les risques volcaniques afin de cibler le type et le contenu des outils de sensibilisation, expertise dans les domaines de la vulnérabilité et de la gestion des crises), tandis que les réseaux de volontaires mobilisables par les partenaires permettraient une large diffusion des enquêtes, une aide logistique de taille pour la distribution, la récupération et l'acquisition des données, et une implémentation au cœur des communautés villageoises encore « inexplorées ». Le projet « Renforcement des capacités du Croissant-Rouge comorien et sensibilisation des populations face aux risques liés au volcan Karthala », en réflexion depuis février 2007, a alors été co-rédigé en mai 2007 et une convention signée entre le Laboratoire GéoSciences Réunion (LGSR), la CRF et le CRCo. De son côté, le SCAC s'est engagé à soutenir la démarche financièrement, le COSEP logistiquement, et les Nations Unies scientifiquement en nous faisant contribuer à la réalisation d'une enquête de vulnérabilité.

#### ❖ *Logiques et supports d'enquête*

La perspective de telles collaborations a permis de planifier une campagne d'enquête de grande envergure mêlant questionnaires en milieu scolaire avec des élèves du primaire, du secondaire, et du supérieur, et entretiens dans les villages avec des publics variés : chefs, maires, représentants d'association, enseignants, citoyens lambda (par quotas pour les enquêtes orales en respectant les mêmes proportions qu'en pré-enquête). Les nouveaux supports d'enquête ont été testés auprès des populations avant d'être validés sous leur forme actuelle.

- **Questionnaires en milieu scolaire**

Le choix du milieu scolaire a été fait pour les raisons déjà exposées en pré-enquête. Par ailleurs, pour déterminer l'influence de l'éducation scolaire sur les connaissances et perceptions des jeunes, nous avons décidé de travailler uniquement avec des élèves et étudiants en fin de cycle : CM2, 3ème, Terminale et Licence 3 et leurs professeurs. Un nouveau questionnaire a été rédigé en tenant compte des remarques récoltées en pré-enquête. Il se décline en plusieurs versions :

- un questionnaire adapté aux enfants du primaire, composé de 14 questions, dont 13 ouvertes (Annexe 6). Il était initialement conçu avec une majorité de questions fermées, mais un test auprès des enfants et institutrices de l'école Youmna à Moroni mi-mai 2007 a montré que les enfants avaient tendance à cocher au hasard les réponses des questions à choix multiples, s'appliquant et prenant plus de plaisir à répondre aux questions ouvertes. 1000 exemplaires du questionnaire ont été diffusés aux enfants de CM2 de 33 écoles. Une fiche a également été adressée aux enseignants, accompagnée de 60 feuilles blanches, pour faire dessiner le Karthala à deux classes de petite section (CP, CE1, ou CE2) pendant que la classe de CM2 répondait au questionnaire. Cela devait permettre que tous les enfants se sentent impliqués dans la démarche. Des crayons de couleur ont été distribués pour permettre aux enfants de s'exprimer le plus

largement possible : en effet, même chez les plus jeunes, des résultats intéressants avaient été obtenus lors de la pré-enquête avec par exemple une différenciation des couches géologiques dans le Karthala à l'aide de différentes teintes, à l'image de ce qui leur est présenté dans les manuels scolaires. Cela permettait accessoirement de doter les écoliers d'un matériel auquel ils n'ont pour la plupart d'entre eux pas accès habituellement.

- un questionnaire destiné aux élèves du secondaire et aux étudiants, composé de 37 questions, dont 11 questions fermées, une graphique, deux cartographiques. Il est subdivisé en plusieurs thèmes : « votre lieu de vie face aux risques naturels », « le Karthala et vous », « les éruptions du Karthala », « la gestion du risque volcanique », « le Karthala en dessins » (Annexe 7). Il a été testé auprès des élèves et du proviseur du lycée de Moroni en mai 2007 avant validation. 2000 questionnaires destinés aux élèves de 57 établissements d'enseignement secondaire ont été distribués : 1000 élèves de 3ème, 700 élèves de Terminale et trois promotions de Licence 3 (1/3 en Sciences, 1/3 en Lettres et 1/3 en Droit pour tenter de discerner des différences d'approche entre étudiants en Sciences censés avoir une connaissance approfondie plus du sujet et étudiants littéraires).
- enfin, un questionnaire composé de 13 questions, dont 11 fermées, a été soumis à la centaine d'enseignants concernés, pour connaitre la réaction de leurs élèves face à l'enquête et l'intérêt porté au Karthala en milieu scolaire. On a ensuite demandé à ces enseignants de remplir le même questionnaire que leurs élèves. Une fiche mode d'emploi leur a été adressée en préambule avec des consignes pour assurer la bonne passation de l'enquête dans leur classe (Annexe 7).

La langue choisie est le français, langue officielle des cours. La numérotation des questions a été volontairement supprimée au profit de l'indication d'une durée moyenne de temps de réponse, pour ne pas décourager les participants et pour limiter les possibilités d'échange de réponses dans le cas où l'enseignant n'empêcherait pas les élèves de communiquer entre eux. Trois mille questionnaires ont ainsi été diffusés dans les établissements scolaires de toute l'île.

- **Questionnaire multi-aléas auprès des chefs de ménage**

Parallèlement un questionnaire destiné à enrichir l'analyse des risques en vue de l'élaboration du plan de contingence national a été mis en place dans le cadre du projet « Le Karthala, contribution à la gestion intégrée du risque volcanique et des opportunités du milieu dans une montagne en développement ». Nous avons participé à sa conception et à sa passation sous l'égide d'OCHA. Ce questionnaire, écrit en français, est composé de 41 questions ouvertes et fermées apportant des indications sur les conditions de vie quotidienne, d'accès aux ressources, et sur la cohabitation avec le volcan (Annexe 8). L'objectif secondaire des Nations Unies à travers ce questionnaire était de « jeter les bases d'une capacité nationale d'enquête de survenance rapide multi-aléas », en créant un questionnaire d'évaluation post-catastrophe intégrable au Plan National de Réponse et de Préparation aux Urgences de l'Union des Comores et en formant des jeunes à la passation de ce type d'enquête.

Il n'a pas été possible de coupler l'enquête de perception en milieu scolaire à celle de vulnérabilité menée avec OCHA pour une question de longueur du questionnaire d'une part, et de logique de l'autre (jeunes et enseignants visés d'un côté, chefs des ménages de l'autre, les jeunes n'étant pas en capacité de répondre à toutes les questions posées aux chefs de ménage sur les ressources du foyer).

- **Entretiens et « Focus Group Discussion » dans les communautés**

Enfin, une démarche qualitative est venue compléter ces deux approches quantitatives. Dans chacune des

localités ciblées pour les enquêtes en milieu scolaire et enquêtes OCHA, des entretiens ont été réalisés en shingazidja par les volontaires du CRCo sous forme d'un Focus Group Discussion et de plusieurs entretiens individuels par communauté ciblée. Ces entretiens permettent d'interroger les personnes influentes de la communauté qui prennent les décisions en temps de crise. Ils permettent également d'obtenir des réponses plus précises sur les comportements lors des dernières crises, en particulier sur les déplacements. Les volontaires disposaient de deux grilles fournies par nos soins et simplifiées au maximum : l'une d'analyse des vulnérabilités de la communauté, l'autre d'analyse des capacités. L'analyse des vulnérabilités repose sur une identification des trois principaux aléas ayant touché la communauté et leurs conséquences. L'analyse des capacités permet de définir en termes quantitatifs et qualitatifs les moyens de communication, de transport, le matériel d'urgence, les secouristes et volontaires disponibles (avec leurs coordonnées), de même que les lieux de regroupement sûrs, leur capacité et localisation. Trois cent soixante entretiens étaient ainsi prévus.

### ❖ *Un plan d'échantillonnage reposant sur les réseaux préexistants*

- **Le choix des 60 localités enquêtées**

Le choix des sites pour l'enquête OCHA s'est fait selon des critères d'exposition aux aléas et d'impacts par des événements anciens comme récents (coulées de lave, cônes et cratères d'explosion, érosion et mouvements de terrain, cendres, lahars et inondations, séismicité, proximité de la caldeira du Karthala). Au total 24 localités ont été sélectionnées (carrés bleus Figure 26). Elles ont été retenues pour mener à bien l'enquête en milieu scolaire et communautaire, afin de coupler les résultats.

Pour le choix des autres localités, nous nous sommes procuré une liste manuscrite des établissements scolaires publics et privés de l'île auprès du Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche de l'Union des Comores. Nous avons automatiquement retenu la trentaine d'écoles primaires dans lesquelles la CRF et le CRCo étaient déjà implantés dans le cadre d'un programme sanitaire (carrés rouges Figure 26).

Enfin, d'autres localités (carrés verts Figure 26) ont été sélectionnées en tenant compte de la présence d'établissements scolaires et en combinant plusieurs critères :

- soit qu'on y ait repéré des comportements/éléments intéressants lors de la phase de pré-enquête (par exemple le village d'Idjikoundzi très exposé sur le flanc Est car proche des cratères, où l'un des notables influents dit mieux pouvoir prédire le comportement du volcan que les volcanologues ; ou encore celui de Kourani Sima, l'un des plus isolés de l'île, également très proche des cratères) ;

- soit pour une question de maillage territorial (par exemple Koimbani dans le massif de la Grille ou Hahaya sur la côte Ouest), pour tenter de couvrir harmonieusement l'ensemble de l'île et valider ou invalider l'hypothèse d'un gradient dans la perception du risque lié à l'éloignement au volcan et aux aléas subis lors des dernières éruptions.

Une fois nos choix faits, il a fallu obtenir des accords officiels pour la réalisation de l'enquête. Le COSEP nous a apporté son support pour organiser un groupe de discussion avec les Préfets et responsables du monde éducatif (conseillers pédagogiques dans le public et directeurs des écoles privées) venus de l'ensemble des régions de l'île, qui ont d'emblée soutenu la démarche. Le plan d'échantillonnage a été discuté avec eux et validé officiellement fin mai 2007.

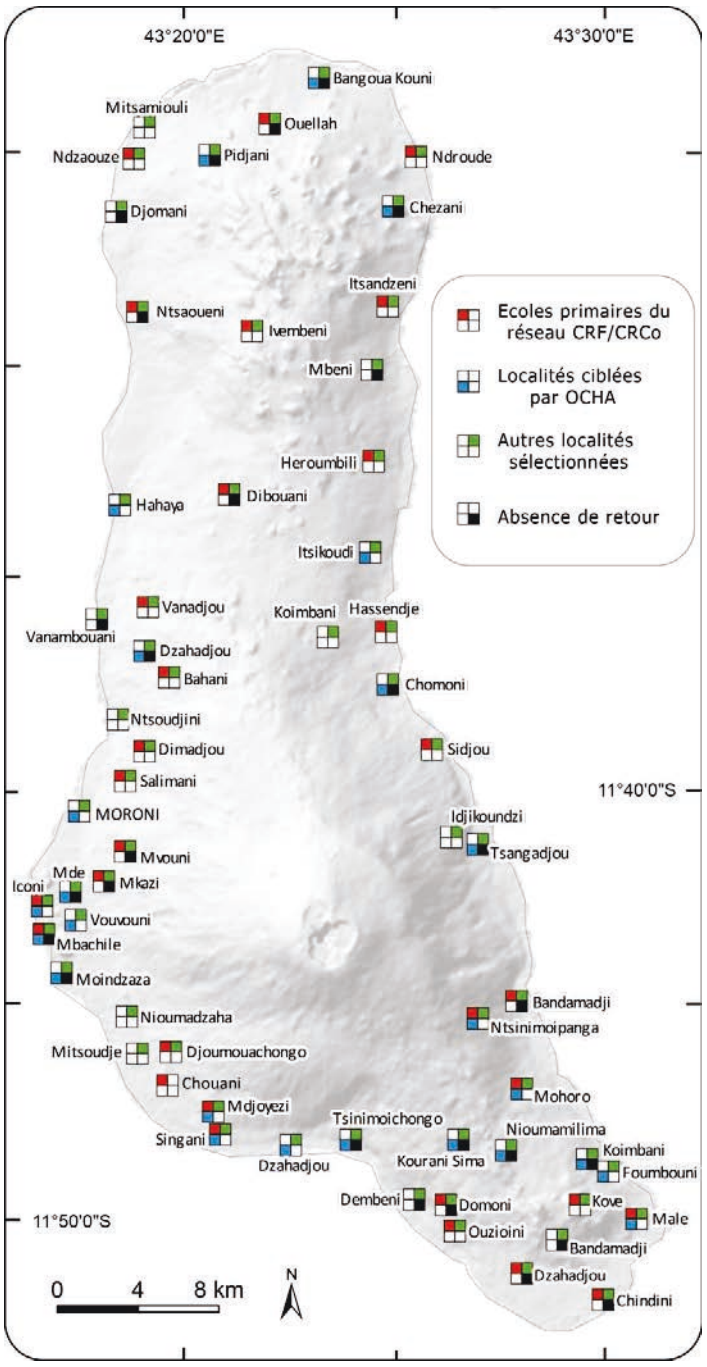



*Figure 26 - Localisation des communautés enquêtées*

- **Modalités de passation des enquêtes**

La passation des enquêtes a été effectuée en juin 2007, avant les grandes vacances, et de façon à pouvoir apporter une plus-value au projet de la CRF dès son début en septembre 2007.

Une grille de distribution des enquêtes en milieu scolaire et communautaire a été fournie aux partenaires, détaillant les coordonnées des établissements sélectionnés dans chaque localité (plusieurs dans les villes comme Moroni) et la liste exhaustive du matériel à prévoir.

Le CRCo a pris en charge la diffusion de l'enquête dans les écoles primaires et la passation des entretiens dans les communautés. Avec l'aide du COSEP nous avons mobilisé le réseau de la Jeune Chambre Internationale Comores pour la diffusion des questionnaires dans les établissements secondaires.

Une grille EXCEL de saisie des données a été transmise aux volontaires pour qu'ils puissent assurer la

retranscription des enquêtes. Ils ont, en outre, bénéficié d'une formation, conçue au LGSR et assurée en Grande Comore par une anthropologue de la Croix Rouge rôdée aux techniques d'enquête. Nous avons également conçu une fiche méthodologique de l'interviewer en guise de pense-bête pour rappeler les fondamentaux de la passation de l'enquête aux volontaires après la formation. En plus de simplifier la démarche pour les partenaires, le but de ces supports était de limiter les biais altérant la validité des données susceptibles d'être créés lorsque plusieurs enquêteurs se chargent d'une même campagne [Chambers 2008].

La passation de l'enquête multi-aléas a été organisée par OCHA avec l'appui du LGSR et de deux professeurs et 10 étudiants en Licence de Sciences de la Terre et de l'Environnement de l'Université de Moroni. Le questionnaire a servi de grille d'entretien structurée pour interroger les chefs des ménages toutes les cinq maisons en partant du centre de chaque localité sélectionnée.

*Figure 27 - Enquêtes en Grande Comore : démarches qualitative et quantitative complémentaires. (A) Un étudiant en géographie de l'Université de Moroni pendant la passation du questionnaire OCHA ; (B) entretien avec l'instituteur de Kourani Sima*

### ❖ *Traitement des données*

Sur le modèle de ce qui a été fait pour La Réunion, les enquêtes ont fait l'objet d'un traitement statistique et lexical sous SPHINX et cartographique sous MAPINFO. En Grande Comore, les répondants au questionnaire en milieu scolaire (niveau secondaire et supérieur) ont indiqué les espaces qu'ils considèrent comme « les plus menacés » et « les moins menacés » par les phénomènes volcaniques. Ces espaces sont reproduits sous MAPINFO pour cartographier le taux de citation de chaque modalité par pixel dans une grille couvrant l'île à un pas de 500 mètres. On obtient ainsi une cartographie pour chaque modalité. On attribue ensuite aux pixels perçus comme « menacés » un score positif, aux « non menacés » un score négatif. Ces scores sont cumulés et rapportés à la population interrogée (fréquence de citation). Ce cumul fournit un score global pour chaque maille de la grille, compris entre -1 et 1. Le score « 1 » décrit les espaces systématiquement cités comme « menacés » et jamais cités comme « non menacés » ; le score « -1 » les espaces systématiquement cités comme « non menacés » et jamais cités comme « menacés ». On aboutit ainsi à une cartographie des zones menacées à non menacées selon un indice compris entre -1 et 1. Dans un dernier temps, on utilise la carte du risque volcanique de Nassor [2001] pour vérifier que les espaces perçus comme menacés correspondent à ceux qui le sont réellement. Cette carte (Figure 22, p.79) fait état de cinq niveaux de risque auxquels on attribue également des scores : « -1 » pour la zone de risque très faible à nul, « -0,5 » pour le risque faible, « 0 » pour le risque moyen, « 0,5 » pour le risque moyen à élevé, et « 1 » pour la zone de risque très élevé. Le cumul des scores de la menace perçue et de la carte de risque permet ainsi d'obtenir une cartographie où chaque pixel est doté d'un score allant de +2 à -2 correspondant respectivement à la surestimation et à la sous-estimation de la menace. La mise en place de

cette méthode permet dans l'absolu de cibler des zones où des actions de sensibilisation doivent être menées prioritairement. L'opération, menée pour l'ensemble des réponses recueillies, est répétée pour chaque localité d'où des questionnaires sont revenus exploitables : Mitsamiouli, Koimbani, Vouvouni, Moroni, Singani, Ntsoudjini, et Foumbouni. On peut ainsi comparer la perception spatiale de la menace entre localités.

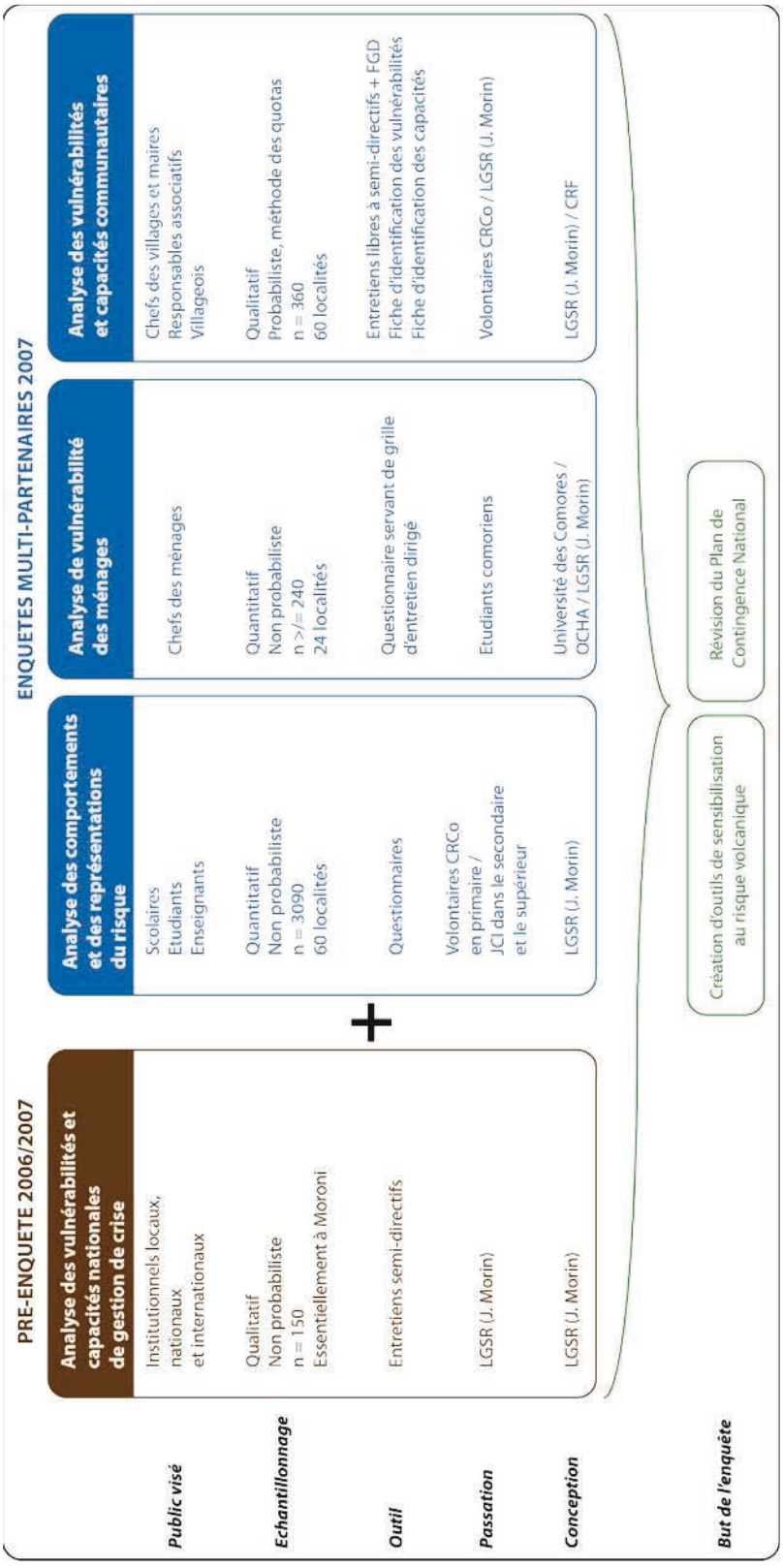



*Figure 28 - Thématiques et organisation de la campagne d'enquêtes réalisée en Grande Comore*

❖ *Limites de la méthode*

Le nombre d'écueils rencontrés a été à la hauteur de l'ambition initiale de l'enquête. La réalisation du terrain a été largement handicapée par des problèmes sanitaires et troubles politiques qui ont entraîné la reconduction à plusieurs reprises des missions prévues en Grande Comore. La passation des enquêtes de 2007, sous la responsabilité du CRCo, est passée au second plan en raison de l'émergence d'une épidémie de choléra. Quelques mois plus tard, un débarquement armé à Anjouan suivi d'un contexte politique franco-comorien particulièrement tendu (lié au projet de départementalisation de Mayotte) ont conduit à l'annulation d'une mission. Lors de la campagne d'enquête dans les écoles, trois enveloppes nous été restituées vidées de leurs questionnaires mais contenant des tracts politiques évoquant le différend franco-comorien sur Mayotte. Les trois mois et demi de mission qui ont pu être réalisés ont été entachés des problèmes quotidiens du pays : difficulté d'accès à l'électricité et aux moyens de communication, pénuries de carburant empêchant les déplacements motorisés, difficulté à obtenir des données de qualité facilement exploitables (données très souvent incomplètes, et non actualisées, parfois manuscrites ; rares données géolocalisées mal calées).

Par ailleurs, la constitution d'un réseau pour la diffusion de l'enquête a été à double tranchant, imposant aux uns et aux autres des calendriers parfois éloignés de leurs « réalités » et représentant une contrainte à certains égards (interminable discussion du questionnaire par une psychologue de la Croix Rouge qui a demandé des modifications). Les retours de l'enquête ont été très limités. Beaucoup d'établissements secondaires n'ont pas été contactés, les niveaux ciblés (fins de cycle) n'ont pas été respectés, des questionnaires de primaire ont été distribués aux enseignants du secondaire et vice versa. On retrouve également de nombreuses similitudes entre les dessins et réponses au sein d'une même classe, preuve que les répondants ont communiqué et copié entre eux. Au final, sur les 3000 questionnaires prévus dans le plan d'échantillonnage, 562 questionnaires exploitables ont été retournés par les écoles primaires, 485 par les établissements secondaires. Parallèlement, aucun entretien individuel n'a finalement été assuré dans les communautés, tandis que les grilles d'analyse des capacités et vulnérabilités ont été bâclées. Enfin, les résultats de l'enquête OCHA n'ont pu être récupérés malgré des relances multiples pendant un an et demi auprès des partenaires présents aux Comores et directement au bureau central d'OCHA à Johannesburg. On obtient ainsi un taux de retour globalement faible pour l'ensemble de la campagne d'enquête.

## 1.3. REPONSES THEORIQUES DES SOCIETES A TRAVERS L'ETUDE DE LEURS CAPACITES ET VULNERABILITES

Selon les auteurs du paradigme radical[67], la capacité de réponse des sociétés face aux menaces ne peut se limiter à des questions de perception. Elle est avant tout liée aux opportunités et contraintes qui font leur quotidien, aux moyens économiques et sociaux qu'elles ont à disposition. Analyser les vulnérabilités et capacités des sociétés permet donc de comprendre, voire d'anticiper, les réponses qu'elles déploient face aux crises volcaniques. Cela revient à identifier les forces et faiblesses propices à l'évitement des situations de crise ou au contraire à leur survenue. Ce travail est en premier lieu envisagé à l'échelle insulaire, puis plus précisément aux échelles communautaire et individuelle.

### 1.3.1. Vulnérabilité et capacités à l'échelle insulaire

Les caractéristiques physiques, socio-économiques et l'organisation d'un territoire sont des indicateurs qui

[67] Pour une synthèse, voir Gaillard *et al.* [2010a].

permettent d'entrevoir l'étendue de sa vulnérabilité et des réponses envisageables ou inenvisageables en cas de crise. L'analyse de ces caractéristiques permet de dresser un bilan de la vulnérabilité globale de chaque île, et des variations en son sein, avec des zones *a priori* plus vulnérables en raison de leurs conditions d'exposition aux aléas, d'accessibilité réduite, de pauvreté, etc.

Au-delà d'une immersion de plusieurs mois sur chaque île qui a permis d'acquérir une connaissance empirique des terrains d'étude, nous avons mené un travail bibliographique de fonds combinant la lecture:

- de la presse locale : le Journal de l'Ile et Le Quotidien de La Réunion - notre territoire d'attache principal - ont été lus de façon régulière mais non systématique depuis 2007 ; l'intégralité des titres du corpus médiatique du journal comorien Al Watwan de 2006 à 2010[68] a été passée en revue fin 2010 pour repérer les thématiques les plus fréquemment traitées (considérées à ce titre comme des sujets de préoccupation majeure), et le journal lu régulièrement en ligne depuis cette date ;
- d'ouvrages généralistes et articles scientifiques sur les Comores et La Réunion, dont nous ne reprenons pas ici toutes les références, disséminées dans les Chapitres II (présentation des territoires), IV et V (gestion des crises à La Réunion et en Grande Comore) et VI (discussion et proposition d'outils) ;
- des documents officiels disponibles sur la gestion des risques et des crises, l'aménagement du territoire ;
- d'une littérature locale - romanesque, poétique et théâtrale - (en particulier [Gamaleya 1983 ; Hatubou 2004b ; Hatubou 2004a ; Carayol *et al.* 2007 ; Elbadawi 2007 ; Folin 2008]) relatant divers thèmes de société (parfois le rapport au volcan), et de littérature « étrangère » portant sur les îles (par exemple [Apollo et Trondheim 2011]).

Cela a permis d'établir un bilan des caractéristiques influençant le risque aux plans physique (climat, géologie, géomorphologie, aléas naturels) et humain (histoire du peuplement, politique, géopolitique, économie, activités, dynamiques démographiques, culture et religion, politiques d'évaluation et de gestion du risque), et de dresser une synthèse de l'organisation territoriale (connexité des réseaux, contrastes dans la répartition du peuplement, des activités, services et équipements). Les incidences potentielles de cette organisation sur le niveau de risque et les capacités de gestion de crise ont alors pu être évaluées. Le Chapitre II dans son ensemble constitue la restitution de ce travail.

La réflexion à l'échelle insulaire donne une idée globale des contraintes et opportunités qui s'exercent sur les sociétés réunionnaise et grand-comorienne, mais reste insuffisante pour comprendre les capacités de réponse à plus grande échelle. Les facteurs de vulnérabilité et capacités ont donc également été recherchés au sein des communautés villageoises du Tremblet et de Vouvouni.

### 1.3.2. Capacités de réponse aux échelles individuelle et communautaire au Tremblet et à Vouvouni

Le choix d'une étude ciblée sur le Tremblet et Vouvouni découle de l'analyse globale de vulnérabilité menée à l'échelle des îles. Ces localités, en plus d'être parmi les plus exposées à la menace volcanique sur les deux îles, ont été confrontées ces dernières années à des événements volcaniques majeurs. Elles constituent à ce titre des cas d'étude particulièrement intéressants. Des observations participantes et des enquêtes par entretien et Focus Group Discussion ont été menées auprès des acteurs-clef et populations,

[68] Archivée en salle Océan Indien à la Bibliothèque Universitaire de Saint-Denis de La Réunion.

essentiellement d'avril à août 2009 à Vouvouni et d'octobre 2009 à janvier 2010 au Tremblet. Les thématiques abordées sont similaires à celles identifiées à l'échelle insulaire, approfondies pour comprendre comment elles se traduisent localement. On cherche ainsi à connaître les ressources de vie quotidienne des villageois pour être à même de mieux comprendre leurs ressources spécifiques disponibles en temps de crise.

### ❖ *Approche des moyens de subsistance durable au cœur des communautés*[69]

- **Concept des moyens de subsistance durable**

Une des meilleures façons de comprendre les conditions de vie quotidienne d'une communauté repose sur l'analyse de ses moyens de subsistance [Cannon 1994 ; Chambers 1994 ; Scoones 1998 ; Dereveux 2001 ; DFID 2001 ; Twigg 2001 ; Benson et Twigg 2007 ; Kelman et Mather 2008 ; Gaillard *et al.* 2009]. Les différentes formes de ressources (naturelles, humaines, physiques, financières et sociales) qui composent ces moyens de subsistance se confondent en effet avec les indicateurs de vulnérabilité face aux aléas naturels et anthropiques. La capacité à faire face à ces aléas dépend donc de la nature, de la résistance, de la diversité et de la durabilité des ressources permettant de subvenir aux besoins élémentaires. Au contraire, l'incapacité à s'en protéger reflète des difficultés à maîtriser sa vie quotidienne [Blaikie 1985]. D'où l'intérêt de l'approche des moyens de subsistance durables (ou SLF pour Sustainable Livelihoods Framework) qui a émergé dans les années 80. Elle se définit comme permettant « un accès durable et adapté à un revenu et à d'autres ressources, nécessaires pour subvenir aux besoins de base et pour se créer des atouts (ressources, capitaux) permettant de résister aux chocs et aux situations de stress » telles que les éruptions volcaniques [DFID 2001]. Cette approche présente l'intérêt de supprimer les indicateurs descriptifs « réducteurs » des populations qui sont utilisés dans les études de développement [Chambers 1994], autorisant une approche systémique beaucoup plus réaliste et conforme au vécu des populations. Le principal enjeu du SLF est d'ailleurs que les populations analysent elles-mêmes leurs besoins et capacités [Delica-Willison et Willison 2004]. Ces capacités sont en effet ancrées dans des savoirs et ressources endogènes aux communautés locales au contraire de la vulnérabilité et des verrous d'accès aux moyens de protection qui sont souvent d'ordre exogène.

- **Avantages de l'approche participative**

Les approches communautaires et participatives apparaissent de ce fait les plus appropriées pour faire face aux risques de catastrophe car elles mettent l'accent sur la participation de la communauté locale dans l'évaluation des aléas, de la vulnérabilité, des capacités et des risques [Anderson et Woodrow 1989 ; Maskrey 1989 ; Heijmans et Victoria 2001 ; Wisner 2006]. Il existe souvent un décalage entre la représentation de la vulnérabilité, parfois « généralisante », des experts et celle des individus vulnérables [Bhatt 1998 ; Revet 2009a], qui sont les mieux placés pour identifier les opportunités et les difficultés d'accès aux moyens de protection. L'approche participative permet de pallier ce problème. Le bien-fondé des actions à l'échelle locale est d'ailleurs largement reconnu et admis au sein des communautés scientifiques et de praticiens depuis plus d'une trentaine d'années [Wisner *et al.* 2003]. Ces mesures sont désormais promulguées par des organismes à l'échelle internationale, telle la « Stratégie Internationale de Prévention des Catastrophes des Nations Unies ». Elles ont de plus été formalisées par le « Cadre d'Action de Hyogo pour des nations et des collectivités résilientes face aux catastrophes » à l'horizon 2015 à la « Conférence Mondiale pour la Réduction des Catastrophes » organisée à Kobe en janvier 2005 et par des stratégies régionales de prévention des catastrophes, à l'instar de la Stratégie adoptée par l'Union africaine

[69] décrite en détails dans [Gaillard *et al.* 2010a], référence que nous avons co-signée, dont sont extraits certains passages de cette sous-partie.

en 2004 [UA/NEPAD 2004]. L'implication des autorités gouvernementales doit donc s'appuyer sur un état des lieux initial au niveau communautaire et local. C'est l'approche que nous avons adoptée dans les deux localités sélectionnées.

#### ❖ *Observations participantes au sein des communautés du Tremblet et de Vouvouni*

L'observation participante repose sur une immersion complète et prolongée dans les communautés étudiées. Elle a permis une appréhension des difficultés et opportunités des villageois du Tremblet (durant un mois et demi) et de Vouvouni (durant trois mois et demi[70]) en vivant leur quotidien : partage des activités laborieuses et récréatives (des adultes et des jeunes, des femmes et des hommes), de l'habitat, des moyens de transports, des coutumes, etc. Les observations ont été menées aux différentes heures de la journée (matin, midi, après-midi, soirée - à l'exception de la nuit) depuis des lieux variés (terrasse des restaurants, épicerie, école, champs, etc.). Elles ont donné lieu à la constitution de grilles d'observation sur le trafic routier et pédestre dans les villages, la nature des activités quotidiennes, la salubrité de l'habitat, l'accès aux ressources élémentaires (alimentation, eau, énergie, éducation), les relations sociales, l'occurrence des aléas et leur prise en compte. Les discussions informelles menées ont permis de s'éloigner de l'aspect académique de l'enquête et d'aborder des thèmes parfois tabous qui n'auraient pas été révélés en entretien officiel : activités et pratiques illégales, conflits familiaux et villageois, opinions politiques et religieuses, etc. La question des relations sociales a revêtu un caractère particulièrement important. Elle permet de comprendre le rôle de chacun dans la communauté, de déterminer les personnes susceptibles de prendre des décisions localement, celles qui bénéficient de la confiance des autres membres de la communauté, ou à l'inverse, suscitent la défiance. Cette reconnaissance locale peut être décisive pour l'organisation communautaire en temps de crise. La compréhension des relations de pouvoir entre villageois permet par ailleurs de décrypter plus finement certaines des réponses obtenues par la suite au cours des entretiens individuels.

Les observations apportent des informations riches mais ne permettent pas de comprendre le fondement des pratiques observées. Des entretiens s'imposent en parallèle. Nous avons choisi d'analyser les ressources communautaires à travers des entretiens de groupe, et les ressources des foyers via des entretiens individuels.

#### ❖ *Groupes de discussion sur les ressources communautaires au Tremblet et à Vouvouni*

- **Quotidien des communautés**

Des groupes de discussion (FGD dans la littérature pour Focus Group Discussion) ont donc été préparés pour identifier les contextes de vulnérabilité, les ressources à la base des moyens de subsistance et les stratégies d'adaptation aux menaces aux différentes périodes de l'année (la prise en compte de la saisonnalité étant préconisée pour l'Analyse des Vulnérabilités et des Capacités [Benson et Twigg 2007]). Nous sommes partis du quotidien des habitants (activités et ressources) pour progressivement orienter la discussion vers le volcan et les menaces qui y sont associées. Le risque volcanique est ainsi intégré dans la dimension quotidienne de leur existence au lieu d'être pris comme sujet d'étude à part. Les interviewés sont plus enclins à répondre dans la mesure où ils se sentent davantage concernés.

Les FGD sont plus difficiles à mener pour l'interviewer que les entretiens individuels, mais présentent deux avantages. D'une part, ils favorisent l'auto-vérification des informations entre participants [Chambers 2007].

[70] Pour des raisons logistiques, seules deux semaines de travail ont pu y être personnellement réalisées. Nous avons ensuite supervisé le travail de M. Trouvé, stagiaire de master 1 de l'Université de Strasbourg, qui a passé trois mois à Vouvouni.

D'autre part, ils permettent de saisir les jeux d'acteurs entre participants (dominations, connivences, oppositions, etc.) et éventuellement les avis exprimés sur d'autres membres de la communauté non présents lors du FGD. Ils sont ainsi indispensables pour pouvoir prendre du recul sur les réponses recueillies lors des enquêtes et sur l'efficience prévisible de la planification de gestion de crise.

Au Tremblet, seuls les enfants se sont finalement prêtés à ce type d'enquête. Le FGD, filmé, s'est déroulé en décembre 2009 durant 1h30 avec six enfants à l'école du Tremblet. La plupart des adultes n'ont pas souhaité aborder leur quotidien en groupe pour des questions d'emploi du temps ou en raison de relations antipathiques voire conflictuelles avec d'autres villageois. Le FGD avec les enfants est insuffisant pour comprendre toutes les dimensions de l'accès aux ressources mais constitue une bonne base pour comprendre le quotidien des villageois.

A Vouvouni, un FGD a réuni durant trois heures, en juillet 2009, dix jeunes adultes de Vouvouni. Il a permis d'aborder l'ensemble des thèmes permettant de comprendre le quotidien au village. D'autres groupes se sont montrés très intéressés par cette démarche (en particulier les femmes et les exploitants de sable), mais les priorités quotidiennes ont empêché de trouver un moment consensuel pour sa réalisation. Même s'ils ne peuvent être qualifiés comme tels, certains « FGD » se sont en revanche tenus spontanément, en démarrant une discussion avec une ou plusieurs personnes, auxquelles venaient progressivement se greffer d'autres villageois. De nombreuses données ont été recueillies dans ce contexte informel.

- **Cartographie des ressources en vue de la préparation aux crises**

On s'intéresse par ailleurs de près aux ressources dédiées à l'organisation de la gestion de crise (localisation des principaux enjeux du village en termes d'accès aux ressources, des moyens de secours et de communication, des lieux de rassemblement en cas d'alerte). A Vouvouni, ce recensement a été organisé en 2008 dans le cadre du programme de renforcement des capacités du CRCo face aux catastrophes naturelles, et mené conjointement avec le CRCo. Ce dernier a assuré la tenue d'un FGD avec une quinzaine de citoyens (hommes et femmes, pour certains volontaires CRCo) et de notables, destiné à la réalisation d'une carte communautaire des ressources de vie et de gestion de crise (Figure 29).

Au Tremblet, la pré-enquête a montré que cette démarche de cartographie participative n'était pas nécessaire, en l'absence de planification de crise informelle (prise en charge complète par les autorités) et dans un contexte de prise de décision familiale ou individuelle et non communautaire face à la menace. Lorsqu'on leur demande de détailler les ressources de gestion de crise à l'échelle communautaire, les villageois s'en remettent d'ailleurs aux uniques moyens d'intervention des autorités.

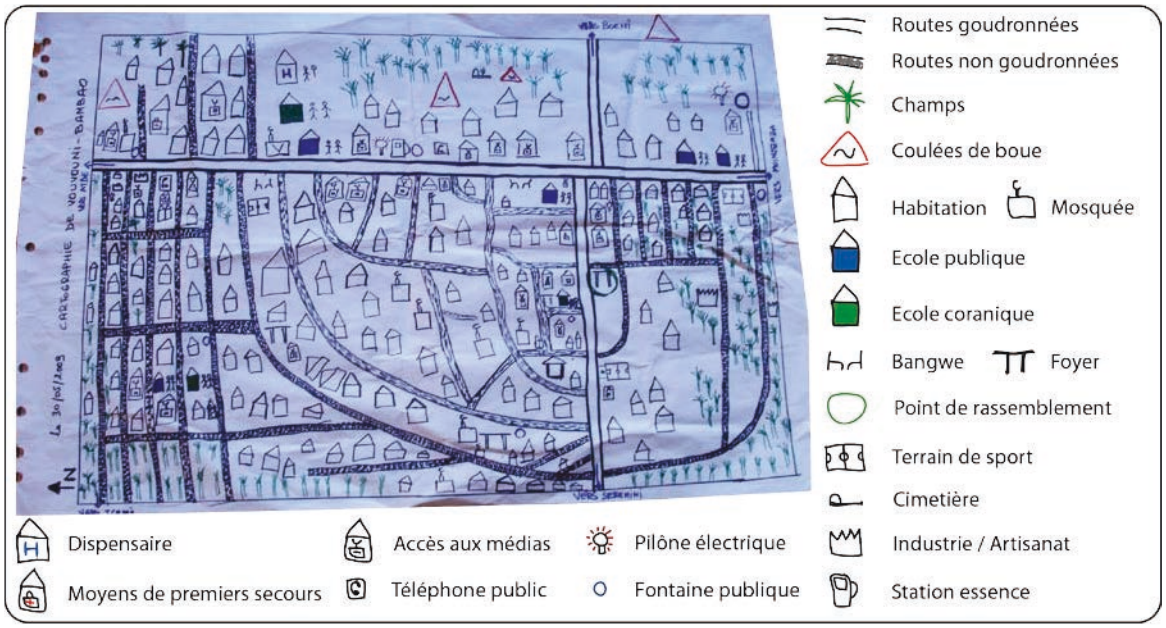



*Figure 29 - Un moyen efficace de localiser les ressources communautaires : la cartographie participative réalisée en FGD (passation CRCo 2009)*

### ❖ *Ressources des foyers au Tremblet et à Vouvouni*

Une grille a été conçue pour réaliser des entretiens semi-dirigés dans les foyers (Tableau 7). Comme lors des FGD, nous sommes partis du quotidien des habitants pour progressivement orienter la discussion vers le volcan et les menaces qui y sont associées. Les thématiques abordées tiennent compte de notre connaissance du terrain et de la littérature existante sur l'analyse des vulnérabilités et des capacités détaillée précédemment. Le plus souvent les entretiens se sont tenus spontanément, en allant à la rencontre des habitants. Seuls quelques-uns ont nécessité de prendre rendez-vous. Les entretiens, d'une durée moyenne de 2h15, ont été menés en français. Pour éviter de récolter des réponses orientées, nous avons clairement établi que notre travail relevait purement de la recherche et que les Personnes Soumises à l'Enquête (PSE) n'avaient pas à en attendre de quelconques retombées. Pour faciliter la saisie des données sur le terrain, les grilles d'enquête ont été pré-codées avec des modalités fermées définies grâce au travail de pré-enquête. Au total, 37 entretiens ont été menés auprès des foyers de Vouvouni, 23 auprès de ceux du Tremblet.

*Tableau 7 - Grille d'enquête sur le quotidien des foyers de Vouvouni et du Tremblet. Les thèmes annotés d'un (GC) sont spécifiques à la Grande Comore, (RUN) à La Réunion*

| | **Facteurs analysés** | |
|---|---|---|
| Origines et installation au village | Village et quartier | |
| | Lieu de naissance / Age | |
| | Année d'arrivée au village | |
| | Raisons de l'implantation dans ce village | |
| Menaces et contraintes quotidiennes | Plus grandes difficultés quotidiennes | |
| | Principaux dangers auxquels est confronté l'enquêté dans la vie quotidienne | |
| | Périodes de l'année les plus facile / difficile pour l'accès aux ressources | |
| Composition et ressources du foyer | Nombre de personnes habitant le foyer | |
| | Parmi elles, personnes malades, handicapées ou fragiles ? | |
| | Activité principale occupée / activités secondaires des membres du foyer | |
| | Travail fixe / Contrats ponctuels | |
| | Evaluation du revenu pécuniaire des activités | |
| | Nombre de mois d'arriérés de salaire depuis 2005 / alternatives compensatoires | (GC) |

| | | |
|---|---|---|
| | Evaluation des moyens financiers globaux du foyer | |
| | Source des moyens financiers (type d'activité et personne assumant les apports) | |
| | Nature et quantité de l'épargne | |
| Habitat et commodités | Matériaux de construction de la maison | |
| | Modalités d'accès à la cuisine et aux sanitaires | (GC) |
| | Modalités d'accès à l'eau et à l'électricité | |
| Déplacements | Trajets effectués régulièrement (points de départ et d'arrivée) | |
| | Fréquence et motif des déplacements | |
| | Moyen de transport utilisé | |
| | Possibilité de se passer de ces déplacements en cas d'événement inattendu ? | |
| Accès aux ressources alimentaires | Accès à un ou des champ(s) / Locataire, propriétaire ou métayer | |
| | Localisation du champ et temps nécessaire pour l'atteindre depuis le lieu d'habitation | |
| | Contenu des champs et utilisation des produits | |
| | Elevage de bétail / nombre de têtes | |
| | Source de la nourriture quotidienne | |
| | Combustible utilisé pour cuisiner | (GC) |
| Accès aux soins | Principal inconvénient sanitaire au village | |
| | Accessibilité géographique / Lieu le plus fréquent de consultation du médecin | |
| | Accessibilité financière / Assurance santé / Alternatives en cas d'impossibilité de payer | |
| | Nombre moyen de crises de paludisme par an / Date de la dernière crise de paludisme | (GC) |
| Accès à l'éducation et à l'information | Niveau scolaire atteint | |
| | Type d'école fréquentée (publique, privée, coranique) | (GC) |
| | Scolarisation des membres du foyer : coût mensuel et origine des fonds | |
| | Accès aux médias (presses télévisée, radiophonique, papier, internet) | |
| | Vecteur et fréquence d'accès aux médias | |
| Vie villageoise et citoyenne | Attachement au village / Fierté d'y habiter | |
| | Facteurs d'attractivité du village / Perception des atouts du village | |
| | Volonté de déménager en cas de possibilité, lieu ciblé, et raisons | |
| | Description des réseaux de solidarité dans la vie quotidienne | |
| | Evolutions apportées au village depuis les dernières élections nationales / locales | |
| | Usage du droit de vote lors des élections et référendums | |
| Liens avec l'extérieur | Apports des membres de la diaspora au village | (GC) |
| | Apports des touristes au village | (RUN) |
| | Membres de la famille vivant en dehors du village, localisation | |
| | Aide apportée par les membres de la famille vivant à l'extérieur | |
| | Aide ponctuelle / continue | |
| Croyances et coutume | Croyances et rites religieux et coutumiers | |
| | Points positifs et négatifs du Anda[71] pour le village et à titre individuel | (GC) |
| | Volonté ou non d'effectuer le Grand Mariage, raisons | (GC) |
| | En cas de Anda débuté : classe d'appartenance / volonté ou non de l'effectuer et raisons | (GC) |
| | Dépenses effectuées et prévisionnelles liées au Anda | (GC) |
| Réduction du risque aux échelles individuelle et communautaire | Connaissance et perception (reprise des questions des enquêtes de perception) | |
| | Préparation aux crises (entrainement, sensibilisation) / Sécurisation des ressources / Stocks de secours (nourriture, eau, médicaments) | |
| | Connaissance des modalités d'alerte et du lieu de rassemblement de la communauté | |
| | Adaptations liées aux événements volcaniques récents (mode de vie, habitat, ressources, etc.) | |
| | Alternatives prévues en cas de difficultés d'accès aux ressources suite à une éruption | |

[71] Le Anda désigne le cycle coutumier d'accession à la notabilité aux Comores.

Nous avons systématiquement cherché à déterminer si les facteurs de vulnérabilité et capacités identifiés résultaient de causes profondes ou de pressions dynamiques contextuelles, à l'image de ce qui est proposé dans le Pressure And Release Model de Wisner *et al.* [2003]. Nous avons également cherché à soumettre ces facteurs à des pressions dynamiques hypothétiques (mais probables) pour anticiper des situations de crise et penser des solutions de mitigation.

## 2. REPONSES DES INSTITUTIONS ET POPULATIONS FACE AUX CRISES VOLCANIQUES : ANALYSE D'EVENEMENTS RECENTS

Quel que soit le niveau d'anticipation, les réponses théoriques précédemment étudiées subissent nécessairement des adaptations imprévues liées aux particularités des événements qui se produisent : difficultés et opportunités imprévues, réactivité et qualité des réponses des autres parties prenantes, stratégies d'adaptation développées spontanément, etc., le tout affectant les capacités de réponse. Seule la mise en situation permet de confronter les intentions et capacités de réponse à la réalité des réponses effectivement apportées en temps de crise. Nous avons donc choisi d'analyser des événements récents personnellement vécus : aux Comores, l'éruption de mai 2006, appréhendée depuis Moroni, et les lahars consécutifs aux éruptions de 2005 dans le Bambao, vécus à Vouvouni de 2006 à 2009 ; à La Réunion l'éruption d'avril 2007, vécue depuis le Tremblet. Par assimilation nous incluons dans ces événements les conséquences qui en découlent en phase de post-crise et qui impliquent le maintien d'une situation de crise relative (difficultés de gestion, tensions sociales, etc.). L'accès au sommet de la Fournaise, dans les deux années qui ont suivi l'effondrement du cratère principal en avril 2007, est ainsi intégré à notre étude. Un public supplémentaire est donc pris en compte dans les enquêtes : celui des visiteurs du sommet.

La comparaison entre ce qui est réellement survenu et ce qui aurait idéalement dû se produire permet de compléter l'analyse de vulnérabilité en décelant les contraintes qui pèsent sur les comportements et processus décisionnels. Le but final est de proposer des voies d'amélioration de la gestion de crise théorique et/ou de sa mise en application.

Les mêmes méthodes ont été employées que pour l'analyse des réponses théoriques : observations participantes, enquêtes auprès de publics divers, revue de presse. Les données, de première comme de seconde main, ont été mobilisées à la fois pendant les événements (observations participantes couplées à des entretiens) et *a posteriori* (RETEX).

### 2.1. PREAMBULE A L'OBSERVATION DES REPONSES EN TEMPS DE CRISE : LA CARACTERISATION DES ALEAS EN APPUI A LA GESTION DES CRISES VOLCANIQUES

Un certain nombre d'observations phénoménologiques, effectuées au sol ou depuis les airs, ont été rendues possibles par notre implication directe dans le processus de gestion des crises de 2006 en Grande Comore et 2007 à La Réunion (Tableau 8). Elles ne reposent sur aucune méthode spécifique, si ce n'est sur une expérience théorique et empirique des phénomènes volcaniques, et ont été réalisées sur le vif, sans plan d'action préalable, à la demande des autorités politiques et/ou scientifiques. Elles n'ont donc pas vocation à apporter des résultats dans le cadre de cette thèse, mais sont citées pour leur apport direct à la gestion des crises analysées et parce qu'elles permettent de rappeler l'importance de notre positionnement au cœur des dispositifs de gestion. Il ne s'agit pas de prétendre à un apport personnel dans la gestion des crises analysées, mais simplement d'affirmer ce positionnement dans la mesure où il a largement contribué à mener à bien les retours d'expérience présentés dans cette thèse.

Sur les deux îles, ces reconnaissances ont permis d'observer les manifestations et effets inédits des éruptions. En Grande Comore, elles ont été fondamentales dans la mesure où elles ont constitué l'unique moyen de déterminer la nature de l'activité éruptive, sa localisation exacte, et de surveiller son évolution. Des rapports de situation ont régulièrement été livrés aux acteurs de la gestion des crises et de nombreuses interviews accordées en direct pour rassurer la population et rappeler les bons comportements à adopter, notamment au journal télévisé national de 20h. A La Réunion, leur rôle a globalement été beaucoup plus mesuré : elles ont permis de corréler en direct, via des communications téléphoniques avec l'observatoire volcanologique, la phénoménologie éruptive observée sur le terrain avec l'activité enregistrée par les réseaux de surveillance ; autrement dit, *in fine,* d'affiner l'interprétation scientifique des paramètres enregistrés. Ces reconnaissances ont été primordiales sur les deux îles lorsqu'il s'est agi d'infirmer l'occurrence d'éruptions hors-caldeira, principale préoccupation des autorités comme des populations. A La Réunion, cela a impliqué de revenir sur des décisions opérationnelles prises en amont des observations, en particulier l'évacuation du village du Tremblet. De façon générale, cela a permis de conseiller les autorités en vue d'une gestion optimisée et plus sereine des événements.

*Tableau 8 - Synthèse des observations syn-éruptives directes et de leurs apports (H = hélicoptère, A = avion, S = sol)*

| Lieu | Date | H | A | S | Zone d'investigation | Apport des observations |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Grande Comore | 28/05/06 | | | x | Centre de Moroni | ➔infirmation des craintes des populations liées à une mauvaise interprétation de l'aléa |
| Grande Comore | 29/05/06 | | x | | Caldeira et ensemble des rift zones | ➔détermination du type d'activité<br>➔affirmation de l'absence d'activité éruptive hors caldeira<br>➔proposition de scenarii éruptifs |
| Grande Comore | 31/05/06 | x | | x | Massif dans son ensemble, dépose dans la caldeira | ➔confirmation de l'absence activité éruptive hors caldeira<br>➔échantillonnage des produits éruptifs<br>➔observation de la phénoménologie éruptive, de l'évolution du niveau du lac [Nassor *et al.* 2006] |
| Grande Comore | 02/06/06 | x | | | Flanc méridional, caldeira | ➔confirmation de l'arrêt de l'activité éruptive<br>➔observations et prises de vue pour établir le niveau de la surface du lac en refroidissement et évaluer le volume de lave émis |
| La Réunion | 06/04/07 | x | | x | Rift zone sud-est, autour du village du Tremblet | ➔corrélation des observations au sol avec les signaux enregistrés par l'OVPF pour faciliter l'interprétation des signaux (via téléphone en direct)<br>➔ infirmation de la présence d'une coulée hors-Enclos (avant et après survol) |
| La Réunion | 06/04/07 | x | | | Cratères sommitaux | ➔confirmation d'un effondrement d'environ 600 m de diamètre, confiné dans le Dolomieu<br>➔à partir des prises de vue, calcul par l'OVPF d'un volume effondré provisoire de 20-25*$10^6$ $m^3$<br>➔détermination du type d'activité (aucune activité explosive observée : panaches liés aux éboulements ; cascades de lave passives comme en 1986) |

## 2.2. OBSERVATIONS PARTICIPANTES DES REPONSES ET RECUEIL DE TEMOIGNAGES PENDANT LES CRISES

Des observations participantes ont permis d'observer les pratiques et priorités des différents acteurs en temps de crise. Quand cela a été possible, elles ont été doublées de questions « sur le vif » pour comprendre les fondements des réactions observées.

### 2.2.1. Dans les communautés villageoises et en cellule de crise

#### ❖ *Observation des réponses*

Nous avons utilisé une grille pour répertorier les réponses des acteurs observées sur le terrain et en cellule de crise (Tableau 9). Certaines observations ont été faites en personne, depuis des positions différentes afin de capter la diversité des situations ; d'autres nous ont été rapportées par des tiers pendant les événements. Les observations s'attachent tant au décryptage des actions opérationnelles qu'à celui du quotidien en temps de crise.

*Tableau 9 - Grilles d'observation des réponses adoptées pendant les crises*

| Evénement observé/rapporté | Lieu d'observation | Date / heure | Acteur(s) impliqué(s) | Détails des observations | Causes possibles |
|---|---|---|---|---|---|
| E1 | | | | | |
| E2 | | | | | |
| Etc. | | | | | |

Les « événements » ne sont pas nécessairement immédiatement tangibles : ils incluent l'absence de réponses significatives là où l'on aurait pu en attendre. Les « lieux d'observation » sont indiqués le plus précisément possible en donnant des détails sur l'environnement proche (arrêts de bus, bâtiments, etc.). Ils englobent essentiellement la Pointe et les rampes du Tremblet, la RN2 à proximité des coulées, le rond-point de la coulée de 1986 et la cellule de crise dionysienne à La Réunion (Chapitre IV); le CNDRS, les rues, bâtiments officiels et la cellule de crise à Moroni, et la place du village dans plusieurs communautés sur les flancs du Karthala (Chapitre V). On peut mentionner une prédominance des observations à la Pointe du Tremblet en avril 2007 et au CNDRS de Moroni en mai 2006. Les « acteurs impliqués » sont indiqués par leur fonction, éventuellement adjointe de leur nom lorsqu'il est connu, afin de pouvoir revenir sur les observations avec plus de précision en entretien. Le « détail des observations » porte sur le nombre de personnes présentes, les moyens déployés - ou non -, les relations observables entre acteurs, l'ambiance sur le lieu d'observation, etc. Enfin, les « causes possibles », sont celles pressenties par l'observateur avant toute analyse, ou expliquées par les acteurs eux-mêmes lorsqu'ils s'expriment sur les événements en cours d'observation. On s'intéresse à la fois aux facteurs conjoncturels déclenchants (action d'un autre acteur, perturbation de l'accès aux ressources, dommages, opportunités, etc.) et aux facteurs structurels (vulnérabilités préexistantes). Ces suppositions sont (in)validées ultérieurement en entretien.

#### ❖ *Témoignages corroborant les observations*

Des questions posées aux différentes catégories d'acteurs ont complété ces observations. Elles incluent, lorsque les personnes impliquées ont voulu et pu répondre :

- une description des actions achevées, en cours, ou imminentes, menées par l'acteur ;
- un décryptage de ces actions en termes d'efficacité et d'implications ; en cas de décalage décelé (par l'interviewer ou l'interviewé) entre gestion théorique et situation en cours, la recherche des

causes de ce décalage ;

- un témoignage sur le vécu de l'événement par les acteurs.

❖ ***Limites et avantages de la méthode***

L'intégration aux activités de gestion de crise a présenté l'inconvénient de ponctuellement contraindre nos travaux dans l'espace et dans le temps. Elle a *a contrario* permis l'observation de situations insolites auxquelles nous n'aurions pas eu accès en temps « normal ». Toutes les observations ont fait l'objet de recoupements *a posteriori*.

### 2.2.2. Observations et entretiens auprès des randonneurs au sommet du Piton de la Fournaise

❖ ***Nécessité d'une étude sur l'accès au volcan***

Sensible pour les Réunionnais, le sujet des conditions d'accès au volcan s'est rapidement avéré crucial dans le cadre d'un travail sur la crise éruptive d'avril 2007, et plus généralement sur la gestion des crises au Piton de la Fournaise. Les articles de presse, commentaires des internautes, avis des populations recueillis informellement, et aveux d'institutionnels lors d'entretiens officiels faisaient unanimement état d'un malaise autour de la question du libre accès au volcan après l'effondrement d'avril 2007, et de l'afflux quotidien de dizaines de personnes au sommet du volcan malgré l'interdiction d'accès.

Les chiffres des éco compteurs de l'ONF, qui mesurent le nombre de visiteurs en plusieurs points du massif, n'ont pu nous être communiqués, officiellement en raison de défaillances techniques. Nous avons donc décidé d'opérer nos propres comptages pour quantifier l'ampleur du phénomène et ainsi juger de la nécessité d'une enquête approfondie sur le sujet. Pour des raisons financières, techniques et d'autorisations, nous avons renoncé à l'installation d'un appareil de même type pour des comptages automatisés, de même qu'à l'utilisation d'un appareil photo doté d'un intervalomètre laissé en un point fixe. Nous avons finalement réalisé les comptages à la journée à l'aide d'un simple « compte clics » d'hôtesse de l'air.

Les résultats des comptages corroborant la nécessité d'une étude, deux séries d'enquêtes ont été préparées pour étudier les comportements des randonneurs sur le volcan et leurs fondements. L'ensemble de la démarche est présentée en Figure 30. Dans les deux cas, nous avons eu recours à un échantillonnage non-probabiliste spatial, considérant toute personne rencontrée au sommet de la Fournaise comme un répondant potentiel. La Fournaise étant un lieu touristique prisé des étrangers, les questions ont été préparées aussi bien en anglais qu'en français.

❖ ***Enquêtes dans la zone sommitale de l'Enclos Fouqué***

- **En période d'interdiction d'accès aux cratères**

Dans un premier temps, 264 entretiens individuels directifs ont été menés de janvier à juin 2009 : d'une part en partie basse de la zone sommitale de l'Enclos (n = 138, encadré A Figure 30), d'autre part sur les sentiers interdits d'accès[72] du pourtour des cratères (n = 126, encadré B Figure 30). Le taux de retour est très variable en fonction de la localisation des répondants potentiels. Sur les sentiers autorisés, seuls 7% de personnes ont refusé de répondre. Sans surprise, et malgré l'anonymat annoncé, 24% des randonneurs en zone interdite ont refusé de participer à l'enquête. L'échantillon est composé à 58,5% de résidents pour

[72] Toutes les observations ont été opérées en disposant d'une autorisation temporaire d'accès au site délivrée par la Préfecture de La Réunion.

41,5% de touristes extérieurs à l'île, dont les âges s'échelonnent de 10 à 65 ans (avec une proportion plus élevée de 35-44 ans), pour moitié des femmes, et avec un large panel de niveaux socioprofessionnels et d'éducation. La passation, au cours de cette première phase, a été assurée par F. Jacquard, étudiant de Master de l'Université de La Réunion que nous co-encadrions. Il disposait pour mener ses entretiens d'un questionnaire, pré-codé en propositions fermées pour faciliter la saisie même lorsque des questions ouvertes étaient posées à l'interviewé.

Les 27 questions posées sont destinées à évaluer :

- la capacité des randonneurs à se situer dans l'espace, leur expérience et connaissance de la Fournaise ;
- la connaissance et la perception des aléas, du risque et de leur zonage (notamment à travers une cartographie des bordures du cratère considérées comme les plus instables) ;
- les comportements adoptés et leurs raisons, en particulier en cas de transgression des interdictions d'accès, la perception de ces interdictions ;
- le cas échéant, les raisons de l'approche des bordures du cratère et le sentiment de prise de risque ;
- les intentions de comportement en cas d'aménagement d'une plateforme d'observation ou de possibilité de faire appel à un guide ;
- le profil des répondants (genre, tranche d'âge, origine - réunionnaise, métropolitaine ou étrangère - , activité socioprofessionnelle, niveau d'éducation, accompagnement et équipement lors de la randonnée).

Ces questions complètent des observations menées en amont de l'entretien sur la localisation des personnes interrogées, les attitudes adoptées en bordure de cratère.

- **Après la mise en place d'une plateforme d'observation au Dolomieu**

La seconde phase d'enquête s'est déroulée après la mise en place de la plateforme d'observation sommitale sur la bordure orientale du Dolomieu (encadré orange Figure 30). Elle reprend pour l'essentiel les mêmes observations que lors de la première enquête. Cent cinquante randonneurs ont par ailleurs été questionnés sur leur conscience de transgresser l'accès au périmètre non autorisé de la zone d'observation, et sur les causes de cette transgression (qui concerne 99,5% des individus !). Le taux de retour est de 100%. L'interviewer est toujours resté positionné dans la zone autorisée, en deçà de la ligne blanche à ne pas dépasser, pour mener la passation de l'enquête. Cinq jours d'observation ont ainsi été réalisés aux abords de la plateforme, dont deux pendant l'éruption du 02 au 12 janvier 2010. Au cours de cette éruption, un jour et une nuit ont également été dédiés à des observations au pas de Bellecombe.

Enfin, l'information délivrée fait partie des facteurs susceptibles d'influencer le comportement des randonneurs. Une analyse de l'ensemble des moyens d'information de crise disponibles sur site a donc été menée sur toute la durée des enquêtes et dans l'ensemble des zones d'investigation. Les panneaux implantés dans l'Enclos, au même titre que les informations délivrées par les agents du Parc National de La Réunion sur la plateforme d'observation ont été analysés. Nous nous sommes en particulier interrogés sur leur adaptation au contexte de crise.

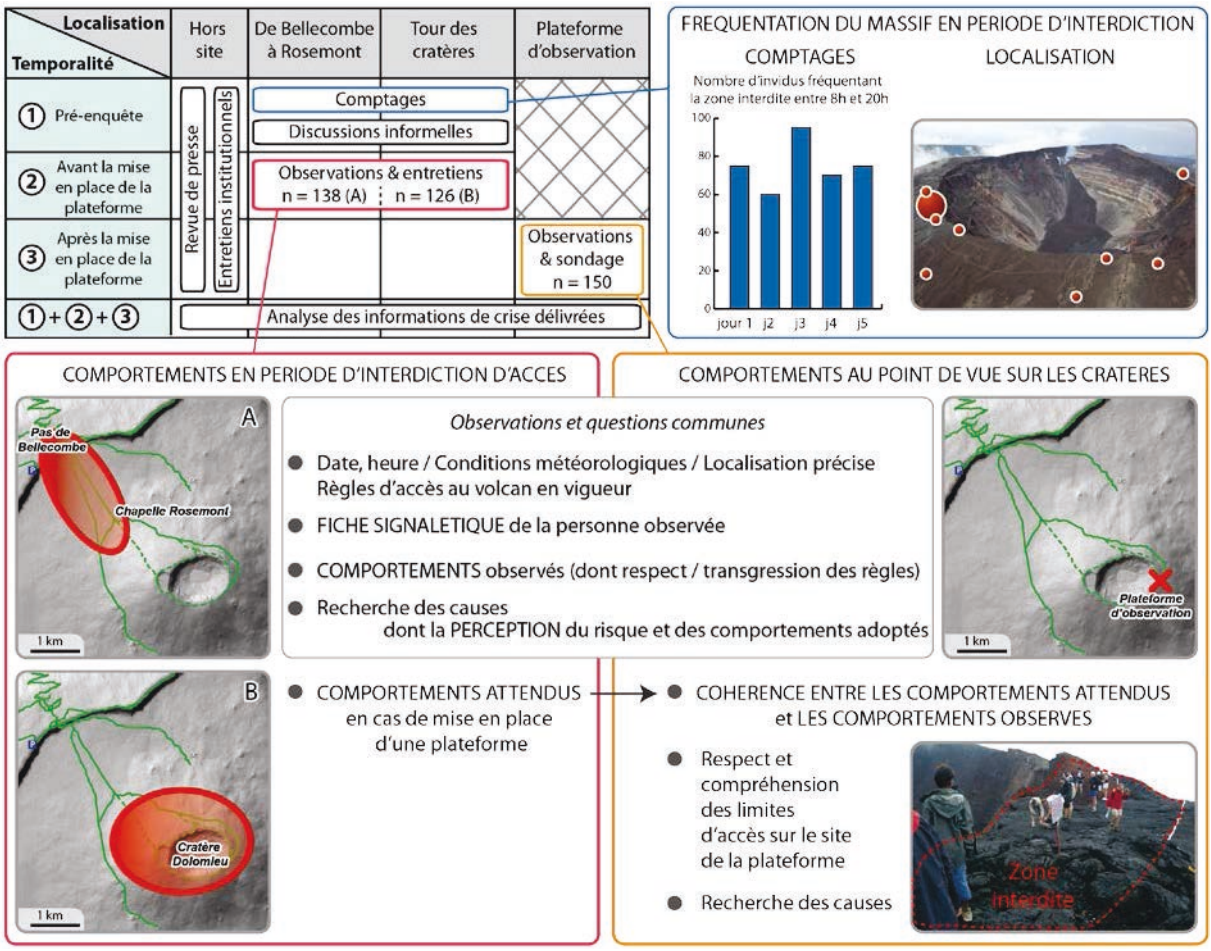



*Figure 30 - Fréquentation de la zone sommitale de la Fournaise et comportements des randonneurs face aux restrictions d'accès*

## 2.3. RETOURS D'EXPERIENCE SUR LA GESTION DES CRISES ERUPTIVES DE 2006 EN GRANDE COMORE, 2007 A LA REUNION ET DES LAHARS DEPUIS 2005 EN GRANDE COMORE

Il était nécessaire de prendre du recul sur ces observations directes en situation de crise et de les compléter pour mener une analyse aussi exhaustive que possible des événements étudiés. Des retours d'expérience (RETEX) ont donc été engagés.

### 2.3.1. Dimensions institutionnelle et géographique des RETEX

#### ❖ *RETEX institutionnels*

Le retour d'expérience, au sens opérationnel où on l'envisage ici, consiste à analyser *a posteriori* la gestion d'un événement réel ou fictif ou d'un ensemble d'événements comparables [MIAT 2006b] en identifiant en détail le fonctionnement de ses diverses composantes : techniques, humaines, organisationnelles [Wybo *et al.* 2003]. Cette analyse doit porter, au-delà du fonctionnement des outils et procédures, sur les socles culturels qui fondent la vie d'une organisation, ses références implicites et explicites, ses réflexes, ses perspectives et ses valeurs [Lagadec 1992]. Les enseignements (positifs et négatifs) qui en sont tirés doivent permettre de dégager des pistes d'amélioration, renforcer les liens entre acteurs concernés, et créer un cadre de référence dans une perspective de prévention des risques et d'amélioration des réponses [MIAT 2006b] afin d'améliorer la gestion des futurs événements. A terme le retour d'expérience participe donc à l'évitement de crise. La tendance actuelle en France est à la systématisation du recours au RETEX,

notamment parce qu'il est encadré sur le plan réglementaire[73] et qu'une méthodologie harmonisée [Wybo *et al.* 2003 ; MIAT 2006a, b] a été proposée aux acteurs de l'Etat aux différents niveaux d'organisation territoriale. La décision de réaliser un RETEX en cas d'événement de sécurité civile dépend de deux critères laissés à l'appréciation des autorités locales : le niveau de perturbation de l'organisation et le potentiel d'apprentissage de la gestion de l'événement.

"*D'une manière générale, tout événement de sécurité civile qui soulève une problématique ou présente un niveau de perturbation de l'organisation dans la réponse qui doit être apportée, doit faire l'objet d'un retour d'expérience.*" [MIAT 2006a]. En ce sens, la gestion de l'éruption d'avril 2007 aurait dû faire l'objet d'un RETEX officiel. Le MIAT [2006b] précise que deux obstacles majeurs peuvent s'opposer à sa réalisation : la crainte d'exposer ses erreurs et celle de perdre du temps. Nous estimons que les deux facteurs ont joué à La Réunion. Aux Comores aucun RETEX officiel n'est réalisé en raison de l'absence de planification, pas plus que de RETEX « informel » du fait de moyens humains et techniques limités. Le travail présenté ici entend combler ces manques pour les deux éruptions choisies, au cours desquelles nous avons fait de très nombreuses observations. Notre démarche se situe à la marge des niveaux 2 et 3 définis dans MIAT [2006a, b] (Annexe 9). Contrairement aux RETEX officiels, elle intègre par ailleurs pleinement les populations en tant qu'acteurs-clef.

#### ❖ *Dimension géographique des RETEX*

Au-delà de ces aspects purement opérationnels, nous nous sommes intéressés aux effets socio-économiques et territoriaux à court et moyen terme des événements décrits. Ce type de RETEX, permettant de caractériser la résilience des systèmes affectés par des éruptions volcaniques, a été développé au Guagua Pichincha en Equateur [D'Ercole et Metzger 2000], à la Soufrière de Montserrat [de Vanssay et Colbeau-Justin 1999], au Nevado del Ruiz en Colombie [Voight 1990], et sur le long terme au Pinatubo aux Philippines [Leone et Gaillard 1999 ; Gaillard 2001].

Cet axe de recherche ne constitue pas le cœur de la thèse mais est indispensable pour concevoir et proposer des solutions de gestion de crise adaptées au contexte dans lequel se trouvent les sociétés bénéficiaires. Du début des événements jusqu'en 2011, nous avons donc cherché à comprendre les conséquences des crises étudiées : quantification et cartographie de l'évolution des impacts, degré de perturbation des systèmes, naissance d'opportunités, adaptation des réponses, etc. A ce titre, notre immersion dans les sociétés concernées a été déterminante en nous permettant d'acquérir une connaissance fine des facteurs de prise de décision et plus généralement l'évolution des données de vulnérabilité.

#### ❖ *Combinaison des démarches institutionnelle et géographique*

La combinaison des deux types de RETEX nous est apparue essentielle pour comprendre toutes les dimensions de la gestion des crises, et être à même de cerner les capacités, difficultés, points de vue et aspirations de l'ensemble des acteurs en jeu. Traiter seulement les aspects « opérationnels » ou de « vulnérabilité » sans les mettre en lien n'aurait, selon nous, ni autorisé à les comprendre convenablement, ni permis de proposer des solutions adéquates et réalistes d'amélioration de la gestion des crises, objectif final de cette thèse. La démarche globale adoptée, présentée en Figure 31, est détaillée dans la suite du chapitre.

[73] L'article 5 du décret n°2005-1157 du 13 septembre 2005 relatif au plan ORSEC et pris pour application de l'article 14 de la loi n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile conforte l'assise réglementaire de la démarche de retour d'expérience.

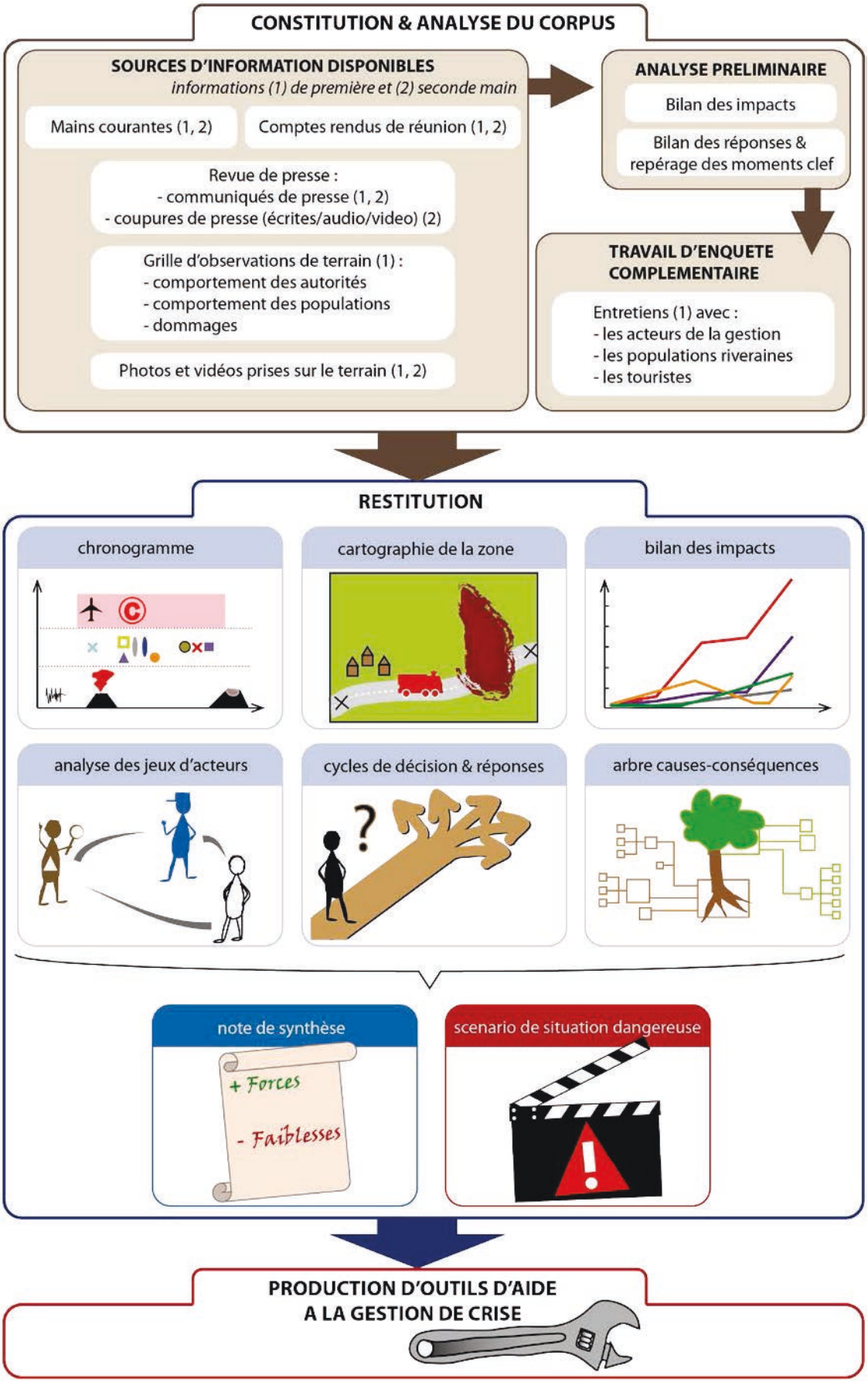



*Figure 31 - Etapes et composantes des RETEX sur la gestion des crises associées aux aléas volcaniques au Piton de la Fournaise et au Karthala*

### 2.3.2. Constitution et analyse des corpus mobilisés pour les RETEX

#### ❖ *Constitution d'une base de données photo-vidéo*

De nombreuses sources visuelles prises pendant l'événement permettent de compléter *a posteriori* les grilles d'observation. Elles comportent en effet un certain nombre d'indicateurs opérationnels : nombre de personnes visibles à l'image, catégories d'acteurs en présence, dispositifs déployés (barrages, organisation de la circulation et du stationnement, etc.).

Elles permettent en outre une cartographie de l'aléa. Un exemple de traitement est présenté en Figure 32. Cette méthodologie a déjà employée pour cette éruption par N. Villeneuve pour cartographier l'extension et la progression des coulées de lave [Bachèlery et al., in prep]. Sa réalisation se heurte à des inconvénients techniques : des interprétations limitées aux champs de prise de vue (zones masquées du fait de la distance, des conditions météorologiques, de la présence de panaches de gaz, de la luminosité, etc.) et une comparaison entre les différents clichés souvent difficile pour des questions de variation d'exposition.

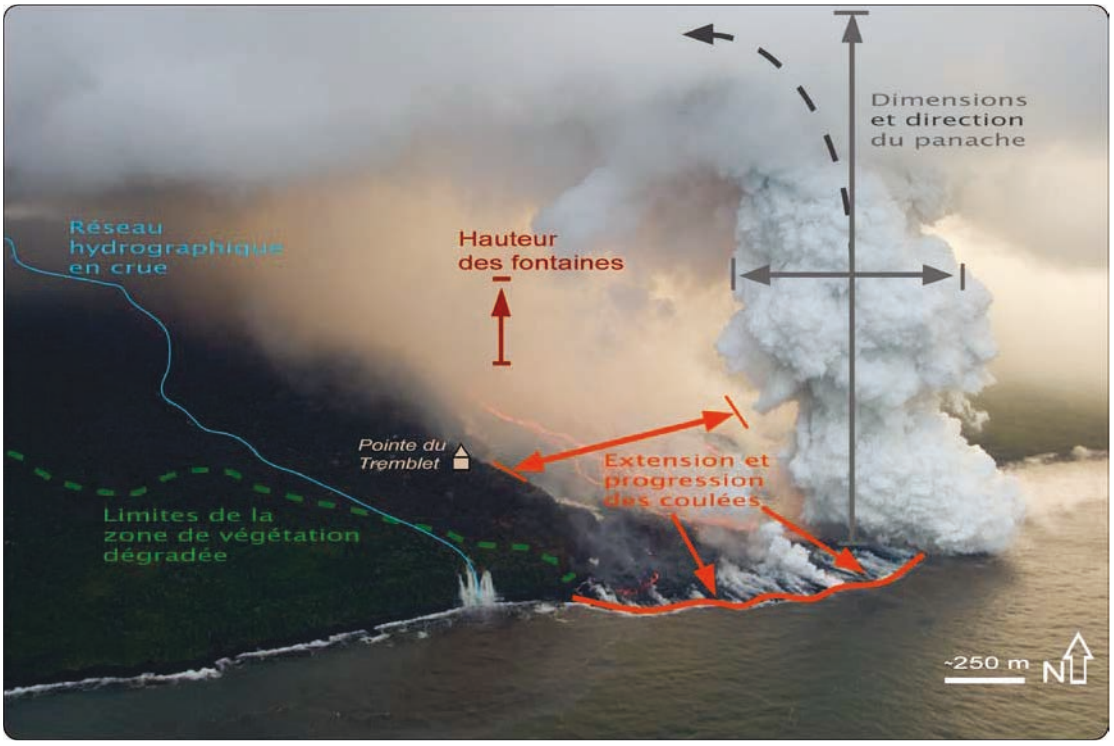



*Figure 32 - Aléas et impacts associés : un exemple d'apport des vues aériennes (éruption du Piton de la Fournaise, cliché F. Caillé, 07/04/2007)*

La base de données constituée regroupe 450 photographies aériennes obliques assemblées de 2007 à 2010[74], et environ 700 prises de vue au sol regroupant nos photographies, celles d'interlocuteurs de l'OVPF, de passionnés du volcan, de l'EMZPCOI, de la presse écrite, les films réalisés sur l'éruption, et les émissions des médias télévisés.

[74] Fournies à 95 % par F. Caillé, pilote indépendant, et complétées par des clichés de L. Ferlicot, J. Perrin et personnels.

### ❖ *Accès aux archives opérationnelles*

Les opérationnels impliqués dans la gestion des crises en France collectent systématiquement des informations sur le déploiement de leur dispositif pendant les événements. Ces informations sont archivées, et consultables selon le bon vouloir des autorités auxquelles une demande est adressée. Pour mener le RETEX sur l'éruption d'avril 2007, nous avons entrepris en 2008-2009-2010 de récupérer les archives de l'application gouvernementale SYNERGI et les archivages papier de l'EMZPCOI, du COGIS et du CODIS. L'EMZPCOI a fourni une partie seulement de ses archives papier. Le COGIS a évoqué l'impossibilité d'une diffusion de données car le dossier n'était pas encore archivé, tandis que le CODIS évoquait l'impossibilité d'accéder à ces données en raison de leur archivage déjà ancien ! Malgré plusieurs demandes en local et directement au niveau ministériel à la Direction de la Sécurité Civile, aucune consultation de l'événement « éruption d'avril 2007 » ne nous a été accordée sous SYNERGI. Certaines réunions comme les Comités Techniques Risques à La Réunion ont permis des échanges entre acteurs impliqués (OVPF, ORA, Préfecture, etc.) : leurs comptes rendus ont donc été retenus pour l'analyse.

En Grande Comore, le problème ne s'est pas posé, aucun système d'archivage de ce type n'étant disponible pour l'instant.

### ❖ *Revue de presse*

Ce travail doit permettre une analyse détaillée de la communication médiatique lors des éruptions ciblées (qualité et adéquation de l'information transmise par les médias, tonalité du discours, calcul de la durée des sujets consacrés à la crise volcanique au regard des autres actualités dans la presse radiophonique et télévisée, comportement des journalistes) et de nourrir la synthèse des événements (chronologie et nature des réponses apportées, témoignages, etc.). Du fait d'une quasi absence de données sur les lahars post 2005 et l'éruption de mai 2006 aux Comores, l'analyse n'a pu y être menée que de façon superficielle. L'analyse du traitement médiatique pour l'éruption d'avril 2007 à La Réunion a, en revanche, fait l'objet d'un travail de fond, matérialisé par un stage de Master [Bastian 2009] que nous avons co-encadré.

- **Un corpus médiatique incomplet mais riche à La Réunion**

A La Réunion, les données sur l'éruption de 2007 ont pu être récupérées auprès des médias locaux disposant d'un système d'archivage (via G. Levieux, chargé de communication à l'IPGP lorsqu'elles sont marquées d'une étoile - Tableau 11).

Concernant la presse écrite, nous avons fait le choix d'analyser les deux quotidiens les plus diffusés à La Réunion : Le Quotidien et le Journal de l'île de La Réunion (JIR), respectivement lus par 23,2% et 16,4% des Réunionnais [INSEE 2009]. Le Journal Témoignages n'a pas été inclus du fait de sa faible part d'audience. Les données analysées couvrent la période du 26 mars au 14 mai, soit la période englobant la crise volcanique jugée comme la plus essentielle. Les forums de discussion n'étant pas archivés, nous n'avons pas pu les récupérer *a posteriori*.

Pour l'analyse de la presse radiophonique nous avons retenu Radio Réunion sur le Réseau France Outre-Mer[75] et Freedom, les deux radios les plus écoutées de l'île avec respectivement 22,8% et 39,1% de parts d'audience de janvier à juin 2007 [INSEE 2009]. Sur Radio Réunion, un archivage systématique a été mis en place spécifiquement pour l'éruption, mais l'enregistrement étant automatique, si une émission est interrompue par un flash spécial volcan, ce dernier n'est pas enregistré en tant que tel. Par ailleurs on

[75] RFO, depuis devenu Réunion la 1ère.

obtient dans la matinale les informations de la veille, sauf en cas de direct téléphonique. A l'inverse Freedom permet d'obtenir des informations actualisées (mais parfois fausses) à travers les émissions participatives de *« radio doléances »* à travers lesquelles les auditeurs peuvent s'exprimer en direct sur les sujets locaux de leur choix [Watin et Wolff 1995 ; Watin 2001 ; Simonin et Wolff 2010]. Les émissions de Freedom n'étant pas « dérushées », il est complexe de faire des recherches dans les archives. Nous nous sommes donc limités à la récupération des données du 6 avril 2007, apex de la crise volcanique et opérationnelle. Les radios locales ne disposant pas de systèmes d'archivages, leurs émissions n'ont pu être récupérées. C'est regrettable, dans la mesure où certaines communiquent beaucoup en cas d'éruption, notamment Z.fm en contact très régulier avec l'OVPF [com. pers. P. Kowalski].

Nous avons retenu pour la presse télévisée Télé Réunion (sur RFO) et Antenne Réunion, les deux chaînes les plus diffusées avec respectivement 53,1% et 57,5% d'audience cumulée de janvier à avril 2007 [INSEE 2009]. Le contenu médiatique a été utilisé sur toute la durée de l'éruption pour aider à la reconstitution des événements. Du fait de son caractère très chronophage, l'analyse du traitement médiatique s'est en revanche limitée au 6 avril 2007, comme pour le traitement radiophonique.

Enfin, les communiqués de presse de la Préfecture, de l'Observatoire volcanologique et de l'Observatoire Réunionnais de l'air ont été analysés sur la durée de crise.

- **Un corpus médiatique très pauvre en Grande Comore**

Presqu'aucune donnée médiatique n'a pu être collectée pour le retour d'expérience sur la crise de 2006 en Grande Comore, les médias occupant une place très réduite dans le pays. Nous avons récupéré au format papier pendant l'éruption toute la presse écrite qui pouvait l'être, soit quatre journaux (Tableau 10, Annexe 10) ! Al-Watwan est le seul journal, hebdomadaire étatique, qui a perduré depuis son lancement en 1985. La Gazette des Comores, journal quotidien indépendant, et Kashkazi, hebdomadaire d'opposition, ont tous deux disparu depuis. En comparaison, sept articles sont parus dans la presse quotidienne réunionnaise, trois dans la presse mauricienne, c'est dire combien la production journalistique comorienne a été faible en comparaison. C'est en définitive en faisant une recherche pour Karthala en mai et juin 2006 sous FACTIVA que la base la plus riche a été trouvée, la presse internationale ayant relayé 68 dépêches, essentiellement de l'AFP et Reuters. La Télévision Nationale des Comores, inaugurée en mai 2006 quelques jours avant l'éruption, ne disposait d'aucun système d'archivage. Nous avons tenté de récupérer en fin de crise une copie des journaux télévisés diffusés mais faute de moyens matériels, les émissions étaient successivement réécrites sur les mêmes bandes, empêchant les équipes techniques de retrouver les émissions demandées. Enfin, en raison de toute absence d'archivage, la presse radiophonique n'a pu être exploitée autrement qu'en prenant des notes en direct au cours de la crise à l'écoute des médias.

*Tableau 10 - Corpus de presse écrite comorienne disponible sur l'éruption de mai 2006 en Grande Comore (Couv.= mention en première page, format = nombre de pages)*

| Journal | Date | Titre | Couv. | Format |
|---|---|---|---|---|
| Al-Watwan | 02-08/06/2006 | La lave est restée au niveau du plancher | x | 1 p / 8 |
| La Gazette des Comores | 30/05/2006 | Eruption du Karthala - Un lac de lave se forme au fond du cratère Chahalé | x | ½ p / 4 |
| Kashkazi | 01-07/06/2006 | Karthala - Le volcan menace - Un lac de lave est en ébullition depuis dimanche | x | ½ p / 20 |
| Kashkazi | 08-14/06/2006 | Ngazidja Au plus près du Karthala | x | 1 p / 20 |

Afin de comparer la crise de 2006 à d'autres événements concernant la gestion des crises, nous avons passé en revue les archives papier du Centre National de Documentation et de Recherche Scientifique des Comores, puis en 2008, l'intégralité de la presse Comores disponible en salle Océan Indien à la bibliothèque de l'Université de La Réunion. Jusqu'en 2012, l'analyse d'Al-Watwan s'est poursuivie grâce à son nouveau système d'archivage en ligne, incluant tous ses numéros au format PDF à partir de novembre 2008, et sur le site Malango Actualités dédié à l'ensemble de la presse de l'Océan Indien[76], en recherchant les descripteurs «volcan ; Karthala ; coulée ; sable ; COSEP ; Vouvouni / Vuvuni ; boue ; inondation ; éruption ; risque ».

Enfin, une recherche lexicale commune aux deux îles a été menée dans les archives de l'Inathèque[77] pour constituer une base de données sous l'application mediaCorpus. Nous avons pour cela utilisé les descripteurs « Fournaise, éruption, volcan, Tremblet, Comores, Karthala, 2007, 1977, 1986, 1977-2011 ».

*Tableau 11 - Détails du corpus de presse analysé sur la durée des crises faisant l'objet des RETEX*

| **Type de media** | **Source d'information** | ***(Récupération)* & Analyse** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | intégrale | partielle | impossible |
| Presse écrite | Journal de l'Ile de La Réunion, Quotidien de La Réunion | x | | |
| | Al Watwan, Kashkazi, la Gazette des Comores | x | | |
| Presse en ligne | Clicanoo.re (réactions des lecteurs aux articles) | | | x |
| | Sites nationaux et internationaux obtenus via « Karthala » et « Fournaise » sous Google | | x | |
| Emissions radiophoniques | Radio Réunion (Réseau France Outre-mer)*, Freedom* | | x | |
| | Radios locales des deux îles | | | x |
| Emissions télévisées | Télé Réunion (Réseau France Outre-mer)*, Antenne Réunion | *(x)* | x | |
| | Télévision Nationale des Comores | | | x |
| | Archives de l'Inathèque pour les deux îles | *(x)* | | |
| Communiqués de presse | Préfecture | x | | |
| | OVPF | x | | |
| | OVK | x | | |

### ❖ *Entretiens auprès des acteurs institutionnels et populations*

- **Entretiens avec les acteurs institutionnels**

Une centaine d'entretiens semi-directifs a été menée sur chaque île auprès des acteurs impliqués dans la gestion de la crise de façon à aider à la reconstitution des événements et à la compréhension de ce qui a motivé les prises de décision (Annexe 4). La plupart des entretiens ont été menés de façon commune avec ceux sur l'analyse des modes théoriques de gestion précédemment décrits (Tableau 6). Certains d'entre eux ont été délicats à mener du fait de l'implication de la personne interviewée dans des actions jugées contestables *a posteriori*. Pour ne pas faire fuir l'interviewé, en accord avec les recommandations de Pearson et Mitroff [1993] et MIAT [2006a], nous ne nous sommes pas focalisés sur les personnes « responsables » de faits négatifs, mais sur les événements et décisions, puis sur la résolution des problèmes et les aspects positifs des solutions proposées en interview. Les entretiens, longs d'une heure et

[76] http://www.malango-actualite.fr/medias/annuaire-2-comores.htm

[77] Télévision Nationale : Dépôt Légal des Chaînes de Télévision hertziennes depuis 1995, des chaînes du câble et du satellite depuis 2002, et des programmes produits ou coproduits par les chaînes de télévision publiques de 1949 à nos jours ; Télévisions Régionales depuis décembre 2007 ; Radiophonie : Dépôt Légal Radio depuis 1995 et Archives INA Radio depuis 1933.

demie à deux heures en moyenne, se sont déroulés en deux phases. Dans un premier temps notre interlocuteur a été invité à raconter librement la façon dont il a vécu l'événement, ce qui nous a permis d'identifier les temps forts de « sa » crise. Nous avons ensuite recadré l'entretien en mode semi-directif à l'aide de la grille présentée en Tableau 12.

*Tableau 12 - Grille d'entretien avec les acteurs institutionnels utilisée pour la constitution des RETEX*

| **Thèmes abordés** | **Précisions pouvant faire l'objet de relances** |
|---|---|
| Perception globale de l'événement | Opinion sur la gestion dans sa globalité |
| | Satisfaction / insatisfaction vis à vis de la gestion « personnelle » des événements |
| | Temps forts de l'événement |
| | Points faibles / points forts de la gestion |
| Préparation à l'événement | Risque connu / événement envisagé ? |
| | Prévision satisfaisante ? |
| | Planification adaptée à l'événement ? Incertitudes sur l'application de la planification ? |
| | Exercices et formations sur ce type d'événement |
| Organisation de la réponse | Réponses apportées / moyens disponibles |
| | Difficultés rencontrées / éléments de surprise & réactions associées |
| | Propositions non retenues en cours de gestion et se révélant *a posteriori* adaptées |
| | Dysfonctionnements, causes et solutions |
| Relations avec les autres acteurs en interne et externe (y compris la population) | Jeux d'acteurs respectant les schémas théoriques ? |
| | Nature des relations (bonne coordination ? tensions ?) |
| | Points forts / points faibles et solutions |
| Communication interne et externe | Qualité globale de la communication interne et externe |
| | Lancement de l'alerte réussi ? Pertinence du message ? |
| | Information suffisante, régulière et de qualité ? |
| | Fiabilité de l'information / gestion des incertitudes |
| | Problèmes spécifiques de communication |
| Gestion de la post crise | Evaluation des dommages |
| | Mise en œuvre des procédures d'indemnisation |
| | Conduite d'un retour d'expérience ? |
| Eléments qui auraient permis d'améliorer la gestion | Synthèse des facteurs de blocage |
| | Propositions d'améliorations |
| | Réalisés / En cours / Programmés / Non programmées depuis les événements ? |
| RETEX comparé | Points communs et divergents avec la gestion des crises antérieures |

- **Entretiens avec les populations**

Les populations résidentes et touristes ayant vécu tout ou partie de l'événement ont également été interviewées sur leur perception de la gestion de la crise. On espère pouvoir déterminer si acteurs et populations ont une perception concordante de l'événement, ou au contraire s'il existe un décalage cognitif. On pense aussi pouvoir expliquer en partie les comportements observés chez les populations par leur perception de la gestion des événements. Les interrogations portent donc sur leur satisfaction de la gestion par les autorités et scientifiques, et de l'information transmise par les médias. Parallèlement, les entretiens portent sur les impacts sur la vie quotidienne et sur les réponses déployées pendant la crise et à moyen

terme. Les enquêtes de perception présentées dans la partie précédente du chapitre donnaient un premier aperçu sur ces questions. Elles incluaient en effet certaines modalités sur les gênes occasionnées et comportements adoptés lors des dernières crises volcaniques. On s'attache ici à décrire précisément les impacts et processus de retour à la normale, du début des événements jusqu'en 2011/2012. Pour chaque paramètre on cherche à déterminer s'il est essentiellement conjoncturel ou révélateur d'une vulnérabilité préexistante.

Les thèmes sont abordés en envisageant différentes échelles. Certaines questions peuvent ainsi être répétées deux fois, de façon à les situer dans une réflexion institutionnelle insulaire, communautaire ou individuelle. Les entretiens se concluent toujours par une interrogation sur les améliorations possibles de la gestion des crises. La grille d'enquête utilisée est présentée en Tableau 13. Elle a servi de support pour 37 entretiens à Vouvouni, 23 au Tremblet.

*Tableau 13 - Grille d'entretien sur le vécu par les populations des crises liées aux aléas volcaniques*

| **Thèmes abordés** | **Précisions pouvant faire l'objet de relances** |
|---|---|
| Perception globale de l'événement | Ressenti / vécu de la crise |
| | Aléas et menaces perçus / subis |
| | Temps forts / principaux problèmes posés lors de l'événement |
| | (In)satisfaction vis à vis des gestions institutionnelle, communautaire et individuelle des événements / Points forts et faibles |
| Préparation à l'événement | Evénement envisagé ? Risque connu ? |
| | Préparation à l'événement (in)suffisante / Raisons / Moyens mis en œuvre |
| | Capacité d'autoprotection du foyer forte ou faible ? |
| | Exercices / formations / information préventive ? |
| | Connaissance des différents niveaux d'alerte & consignes associées ? |
| Alerte et information | Reconnaissance de précurseurs ? |
| | Réception d'une alerte ? / niveau de l'alerte reçue / Source de l'alerte / Vecteur de réception / Contenu du message / Consignes à respecter ? |
| | Source(s) d'information pendant l'éruption / Type d'information reçue / Information suffisante, régulière et de qualité ? |
| Organisation de la réponse | Premières réponses apportées / moyens disponibles |
| | Difficultés rencontrées / éléments de surprise et réactions associées |
| | Nature des relations avec les autres acteurs et perception de leurs réponses |
| | Opinion sur la qualité de la gestion par catégories d'acteurs |
| | Interlocuteur écouté en priorité, à qui est accordée la plus grande confiance |
| | Mesures prises pour limiter l'étendue des dégâts pendant l'événement |
| En cas d'évacuation | Spontanée / ordonnée ? / Moyen d'évacuation / Durée / Lieu d'hébergement / Prise en charge / Difficultés rencontrées / Critère de retour |
| IMPACTS des éruptions | Synthèse des impacts positifs (création d'opportunités) et négatifs (endommagement) |
| | Cartographie des zones affectées par les aléas et des dommages |
| | Pertes causées : description / cause / évaluation |
| Modification de l'accès aux ressources liées aux : | Perturbations de la vie quotidienne / Modifications temporaires ou durables du mode de vie ? *Réflexion sur l'ensemble des paramètres d'accès aux ressources (Tableau 7) à la lumière de l'événement* |
| Impacts sur le milieu naturel | Végétation abîmée, détruite / Atteintes à la biodiversité |

| | |
|---|---|
| | Perte de cultures et ressources naturelles / Incidence sur l'accès à l'alimentation |
| Impacts sur l'habitat et les commodités | Dégradations de l'habitat et des biens / Type de réparations, coût |
| | Incidences sur l'adduction d'eau et l'accès à l'électricité |
| Impacts sur le réseau routier | Etat du réseau / zones isolées ? |
| | Déplacements habituels maintenus ou annulés pendant l'éruption ? / Raison |
| | Déplacements spécifiquement liés aux événements ? A la demande des autorités ou spontané ? Raison |
| | Destination / Parcours emprunté / Moment choisi / Fréquence / Durée des trajets / Moyen de transport utilisé / Nombre d'accompagnants |
| | Problèmes posés pendant ces déplacements / Avec le recul, déplacement indispensable ? |
| Conséquences socio-économiques | Conséquences sanitaires / psychologiques |
| | Demande / obtention d'aides et d'indemnisations (par qui, quand, comment, combien) |
| | Diversification des métiers et activités rémunératrices pour compenser la perte de ressources ? |
| | Déménagements (temporaires/définitifs : lieu, durée) / Emménagements / Evolution du prix du foncier / Evolution de l'attachement au village |
| | Solidarité renforcée, identique ou diminuée pendant et à la suite des événements avec les membres de la famille / du voisinage / quartier / village / des autres villages / de la diaspora ? |
| | Développement touristique ? |
| Spécifique aux lahars | Bénéfices tirés des mro-madji ? / An cas de vente de sable, montant des revenus générés |
| Bilan global | Au final, événement plutôt synonyme de contrainte(s) ou d'opportunité(s) ? |
| | Points communs et divergents avec les crises vécues antérieurement |
| Amélioration de la gestion | Synthèse des facteurs de blocage / Propositions de solutions |
| | Améliorations réalisées / en cours / programmées / non programmées depuis les événements ? |

Certaines difficultés ont été rencontrées lors de la passation des entretiens. Les enquêtes au Tremblet et à Vouvouni ont été réalisées dans un milieu d'interconnaissance : les gens se connaissent tous que ce soit personnellement, de vue ou de nom. Certains hésitent ainsi à s'exprimer sur certains sujets, d'autres au contraire se montrent prolixes. Il a constamment fallu rassurer les interviewés sur le caractère anonyme des propos recueillis, et veiller à faire la part des choses en replaçant ces propos dans le contexte d'étude, en essayant de saisir les rapports de pouvoir, affinités, et aversions entre personnes ou groupes.

Les interviewés peuvent par ailleurs occasionnellement adapter leurs propos en espérant tirer des bénéfices de l'échange, considérant l'interviewer comme un relais à leurs revendications. C'est notamment le cas lorsqu'on les interroge sur les dégâts subis lors d'un événement, avec une tendance à gonfler les chiffres dans l'espoir d'obtenir une meilleure écoute et une meilleure indemnisation. Les dires doivent donc constamment être confrontés à ce qui est concrètement observable.

Les difficultés proviennent également d'une forme de « rapport de force » entre interviewer et interviewé. En de nombreuses occasions, des personnes ont clairement exprimé un sentiment d'incapacité à apprendre quoi que ce soit d'intéressant à un « expert ». Notre présence remarquée lors des crises a par ailleurs contribué à alimenter l'idée que nous savions déjà tout de l'événement. Il a fallu rassurer ces interviewés sur l'intérêt de leurs propos, et adopter une démarche permettant de minimiser le sentiment d'« expertise ». Nous avons ainsi favorisé des entretiens libres, sans grille d'entretien visible et en limitant

la prise de note, de façon à laisser l'interviewé s'exprimer sans cloisonnement. Les entretiens ont été enregistrés lorsque le fonds sonore le permettait et avec l'autorisation des participants. Nous avons pris de 30 minutes à 3 heures pour retranscrire dans la foulée de sa réalisation tout entretien qui n'avait pu être enregistré.

### 2.3.3. Restitution des analyses

L'ensemble des paramètres observés en temps de crise et déduits des données compilées *a posteriori*, a été analysé et compilé sous diverses formes. Chaque RETEX a en premier lieu été formalisé par un chronogramme et une cartographie pour exposer au mieux ses dimensions temporelle et géographique. Nos conclusions ont également été restituées via diverses formes de représentation.

#### ❖ *Arbres causes-conséquences des temps forts*

Les répondants aux enquêtes ont fait état de temps forts dans la gestion et/ou le vécu des crises. Ces « événements dans l'événement » ont fait l'objet d'une analyse sous forme d'arbres causes-conséquences, modèles de représentation permettant de comprendre l'origine de leur survenue, les conséquences qui en découlent, et de chercher comment leurs aspects négatifs auraient pu être réduits ou évités. Les causes sont recherchées en se demandant toujours si elles sont nécessaires et suffisantes pour expliquer la survenue de l'événement, selon la méthodologie proposée dans MIAT [2006a]. A La Réunion, on a par exemple porté une attention particulière à l'évacuation du village du Tremblet.

#### ❖ *Synthèse des réponses par catégorie d'acteur*

On s'est interrogé sur la cohérence, l'efficacité et la durabilité des mesures adoptées. La synthèse des réponses a été établie sur la base des critères décrits en Figure 33, par catégorie d'acteur. Notons qu'en Grande Comore, les « autorités » désignent les instances laïques aussi bien que religieuses.

#### ❖ *Synthèse des forces et faiblesses par catégorie d'acteur*

La restitution finale de chaque RETEX prend la forme d'une note de synthèse des facteurs de défaillance par acteur. Certains sont propres à un seul acteur, d'autres communs à l'ensemble des acteurs. Chaque facteur est analysé en cherchant à repérer son éventuelle répétition à travers l'analyse des crises volcaniques les plus significatives sur les deux îles au cours des dernières décennies. Nous déterminons également son évolution au cours des dernières années, et son potentiel crisogène actuel, à savoir sa capacité à favoriser la survenance d'une crise opérationnelle en cas d'éruption ou au contraire à s'en prémunir (Figure 34). Le développement d'un indice chiffré ne nous a pas paru opportun, nous lui avons préféré une codification couleur classique pour retranscrire notre appréciation (vert, jaune, rouge, noir). La synthèse des forces est implicite à travers la présentation des améliorations survenues et du potentiel crisogène parfois faible. Le tout (forces et faiblesses) est de toute façon résumé textuellement.

#### ❖ *Scenario de situation dangereuse*

Au vu des forces et faiblesses constatées et de l'analyse globale des capacités et vulnérabilités, nous établissons empiriquement un ou des scenario(s) de situation dangereuse présenté(s) sous forme d'arbre causes - conséquences redoutées. Ces scenarii présentent des situations redoutées qui ne se sont pour l'heure jamais présentées, mais qui relèvent du domaine du probable.

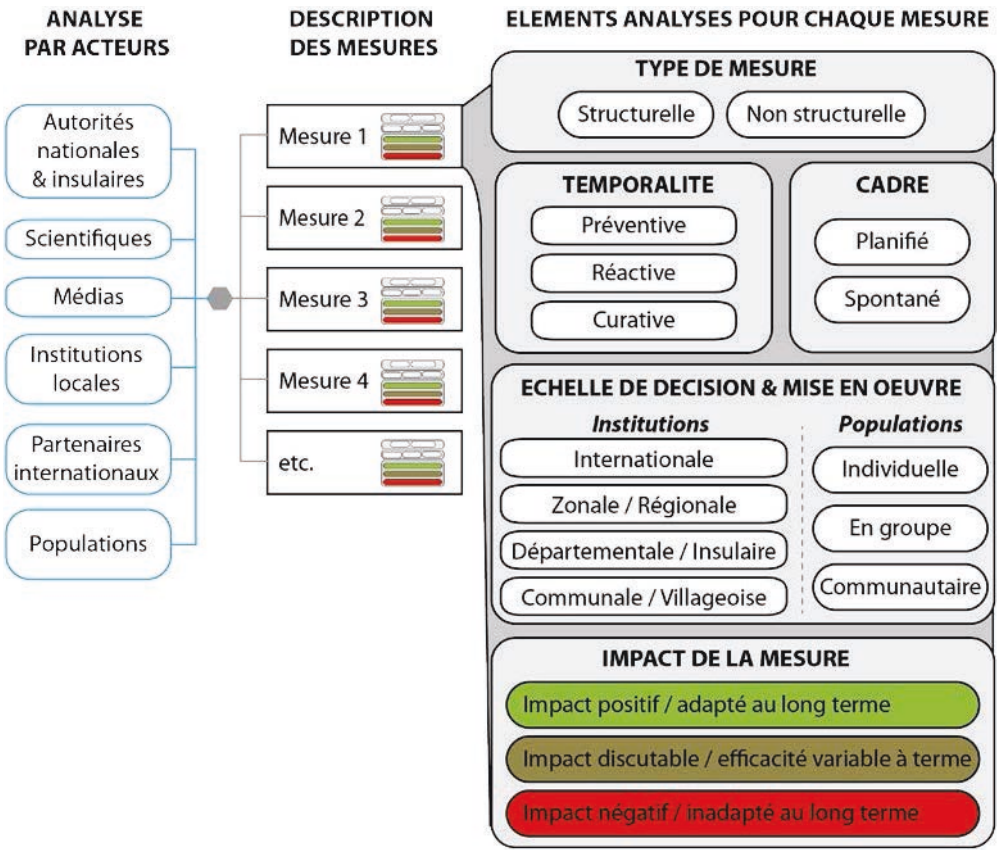



*Figure 33 - Principaux critères retenus pour la synthèse des mesures adoptées en réponse à un événement*

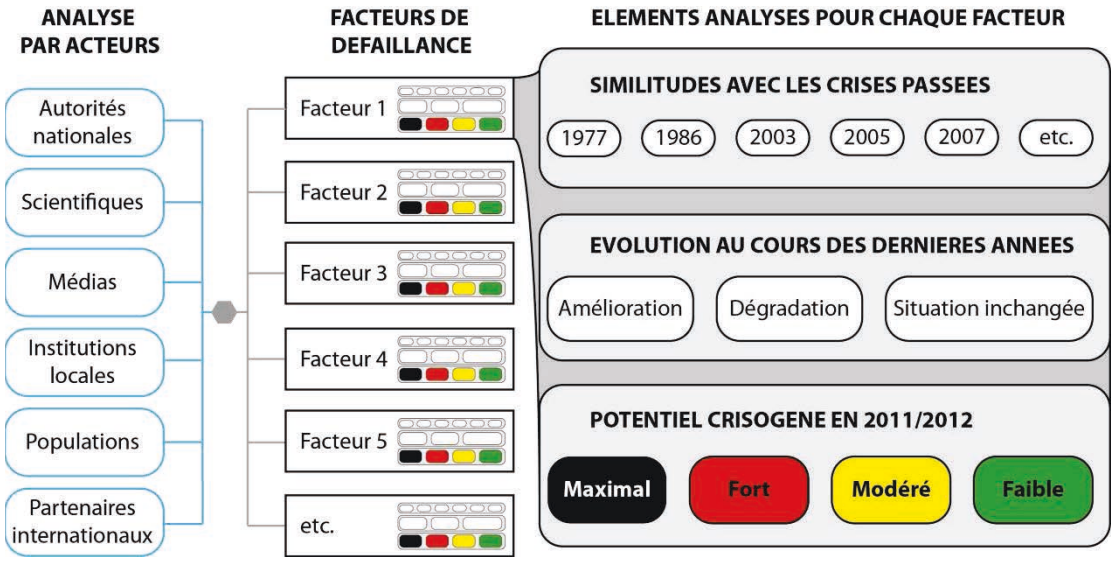



*Figure 34 - Synthèse des facteurs de défaillance par acteurs observés lors des RETEX de mai 2006 en Grande Comore et avril 2007 à La Réunion*

### 2.3.4. Critique de la méthode employée

Certains auteurs soulignent que la personne qui conduit le RETEX doit nécessairement être neutre par rapport à l'événement de façon à en avoir une approche objective. Ce n'est pas notre cas puisque nous avons été impliqués à titre scientifique dans les deux événements que nous analysons. Nous avons donc constamment veillé lors de la collecte post événementielle des données, de leur analyse et de leur restitution à retracer le plus fidèlement possible les observations et témoignages de l'ensemble des parties prenantes. Soulignons par ailleurs que les observations subjectives que nous avons pu faire ont presque systématiquement été concordantes avec celles d'autres observateurs. Celles qui ne l'étaient pas n'ont pas été retranscrites, ou avec une grande prudence sous forme d'hypothèse.

Nos RETEX ont été menés en plusieurs temps. Le fait d'engager la démarche le plus tôt possible permet de limiter la tendance à l'oubli sélectif et aux reconstructions personnelles [MIAT 2006a], la partie « à chaud » de notre travail a donc été primordiale. Notre collecte de données s'est ensuite étalée sur quatre ans. Cela a permis d'avoir un recul intéressant et de mesurer les avancées en cherchant à comprendre la part des leçons tirées de l'événement dans cette évolution. Les collectes de données les plus tardives ont, en toute logique, été marquées par une mobilisation plus difficile des acteurs et des informations. Alors que l'éruption réunionnaise a été perçue comme exceptionnelle par tous, permettant aux acteurs de conserver des souvenirs précis sur le moyen terme, la collecte d'informations a été plus délicate en Grande Comore où les éruptions de 2005 ont beaucoup plus marqué les esprits que celle de 2006, et où le souvenir de cette dernière a partiellement été brouillé par l'éruption de janvier 2007. Notre implication personnelle a, à ce titre, été décisive en Grande Comore pour l'analyse des événements.

Les témoignages des acteurs ne sont pas toujours concordants. Plus qu'un obstacle, cette diversité des réponses constitue une richesse. Chaque acteur jouant un rôle différent en un lieu géographique différent, il décrit et analyse la situation sous un angle qui lui est propre, selon ses représentations personnelles. Des réunions de partage d'expérience, dites réunions-miroir, sont théoriquement organisées avec les acteurs pour présenter la diversité des points de vue mise en évidence par le RETEX et permettre à chaque acteur d'adopter d'autres visions de l'événement pour mieux comprendre ses points forts et points faibles [MIAT 2006b]. La restitution de nos RETEX s'est faite à plusieurs occasions dans les bureaux de divers interlocuteurs mais l'absence de réunion-miroir avec l'ensemble des acteurs constitue une carence de notre méthodologie. A La Réunion, les principaux intéressés n'y ont vu qu'un intérêt très limité et choisi de ne pas y accorder d'importance, tandis qu'en Grande Comore il a été logistiquement impossible d'organiser ce type de réunion malgré l'intérêt marqué des acteurs concernés.

Enfin, les RETEX officiels sont plus complets en raison d'un accès facile à toutes les données et à l'implication d'acteurs multiples dans leur réalisation. En revanche, ils négligent certaines variables qualitatives pourtant essentielles comme la perception des populations et plus généralement les données disponibles auprès du public lui-même. La population est pourtant un acteur majeur de la gestion des crises puisque ses comportements participent au bon déroulement de la gestion, et qu'on fait appel à son bon sens lorsqu'un événement se produit.

# 3. SYNTHESE METHODOLOGIQUE

## 3.1. ATOUTS ET FAIBLESSES DU TRAVAIL D'ENQUETE

Cette thèse repose sur un lourd travail d'enquête combinant des données quantitatives et qualitatives, rétrospectives et prospectives, alliant approches opérationnelle (vision institutionnelle des crises) et géographique (vision territoriale des impacts sur les sociétés concernées à moyen terme). Ce travail n'offre pas d'apport méthodologique innovant, mais possède un atout majeur : la réalisation d'enquêtes en temps de crise couplées à des observations directes.

### 3.1.1. L'atout des observations en temps de crise

Ces observations permettent de dépasser l'argument selon lequel les enquêtes de perception représentent une méthode peu rigoureuse pour appréhender les réponses en temps de crise. Nous partageons partiellement l'idée selon laquelle leurs résultats ne reflètent pas l'état d'esprit dans lequel seront effectivement les personnes au moment d'une crise : les réponses apportées différeront nécessairement des intentions de réponse. Le travail réalisé in situ pendant les événements permet de pallier ce problème en observant directement les comportements pour les coupler aux questions de perception.

### 3.1.2. Plusieurs enquêtes, une trame commune

Une des limites de ce travail repose en revanche sur la multitude des enquêtes réalisées qui a rendu le traitement des données très laborieux. Les réponses face aux crises sont étudiées sur deux territoires, à plusieurs échelles (insulaire, communautaire et individuelle), face à plusieurs types d'événement (lahars, éruptions magmatiques), selon des approches différentes (institutionnelle et géographique), au moyen de deux modes complémentaires de collecte des données (formel, et informel glané au gré des rencontres), dans le but d'obtenir des résultats à la fois qualitatifs et quantitatifs, et en prenant en compte plusieurs temporalités (avant, pendant, et jusqu'à cinq ans après la crise).

La volonté initiale d'enquêtes identiques sur les deux îles s'est révélée irréalisable en raison de l'adaptation nécessaire aux spécificités locales d'une part, aux exigences des partenaires d'autre part, enfin aux aléas du terrain (les deux principales crises analysées se sont produites peu de temps après notre arrivée sur chacune des îles, impliquant un recueil des données dans l'urgence). Les enquêtes conservent une trame commune avec des thématiques similaires, mais la façon de poser les questions varie.

### 3.1.3. Le couplage des approches quantitative et qualitative

L'approche quantitative a montré ses limites dans le cadre de l'enquête de perception menée à l'échelle de la Grande Comore. Lorsqu'elle est bien menée, elle permet de quantifier les comportements, de rendre compte de leur diversité, et de connaître les modalités de répartition spatiale des phénomènes. Elle est en revanche inappropriée pour saisir convenablement les représentations et opinions de chacun. Généralement synonyme de questions fermées, elle laisse en effet peu de place à la contextualisation des réponses. Nous avons pu constater que les interviewés sont d'ailleurs beaucoup plus à l'aise avec les questions ouvertes qui leur laissent réellement droit à la parole, plutôt qu'avec les questions fermées qui les contraignent dans leurs réponses. Nous avons donc, comme le préconisent les auteurs du paradigme radical [Chambers 2008], largement fait usage d'enquêtes qualitatives. Le couplage des deux approches implique une richesse des résultats, à la fois quantifiés et compris en profondeur.

### 3.2. DISPARITE DES DONNEES DISPONIBLES SUR LES DEUX ILES

On a pu noter l'existence de grandes disparités dans les données disponibles pour les deux volcans. A La Réunion, les bases de données IGN et INSEE, régulièrement actualisées, fournissent un riche support de base pour l'analyse. De nombreuses données sont aisément récupérables auprès des institutionnels. En Grande Comore, à l'inverse, très peu de données sont disponibles. Les rares bases informatisées nécessitent des actualisations, l'intégralité des données géoréférencées existantes a dû être recalée (y compris la carte IGN). Pour les besoins de la thèse, il a fallu créer un SIG pour Vouvouni et Moroni.

### 3.3. RECAPITULATIF DES METHODES ET APPROCHES

La synthèse des méthodologies employées est présentée en Figure 35.

A La Réunion, la nécessité de ce type d'étude est explicitement définie dans le SPRN [SOGREAH 2011]. Notre analyse devrait contribuer aux objectifs qui y sont énoncés. En Grande Comore, la démarche n'est pas définie officiellement, mais fortement plébiscitée informellement par les institutionnels comme les populations. Les résultats de cette étude y sont donc également attendus.

Des cartes heuristiques permettent également de présenter des scenarii de crise redoutés en visualisant globalement l'ensemble des causes sous-jacentes à la réalisation des situations de crise. Une fois ces éléments synthétisés, on est à même de proposer des outils pour solutionner certains aspects de la gestion des crises volcaniques identifiés jusque-là comme défaillants. C'est le cœur du dernier chapitre de cette thèse.

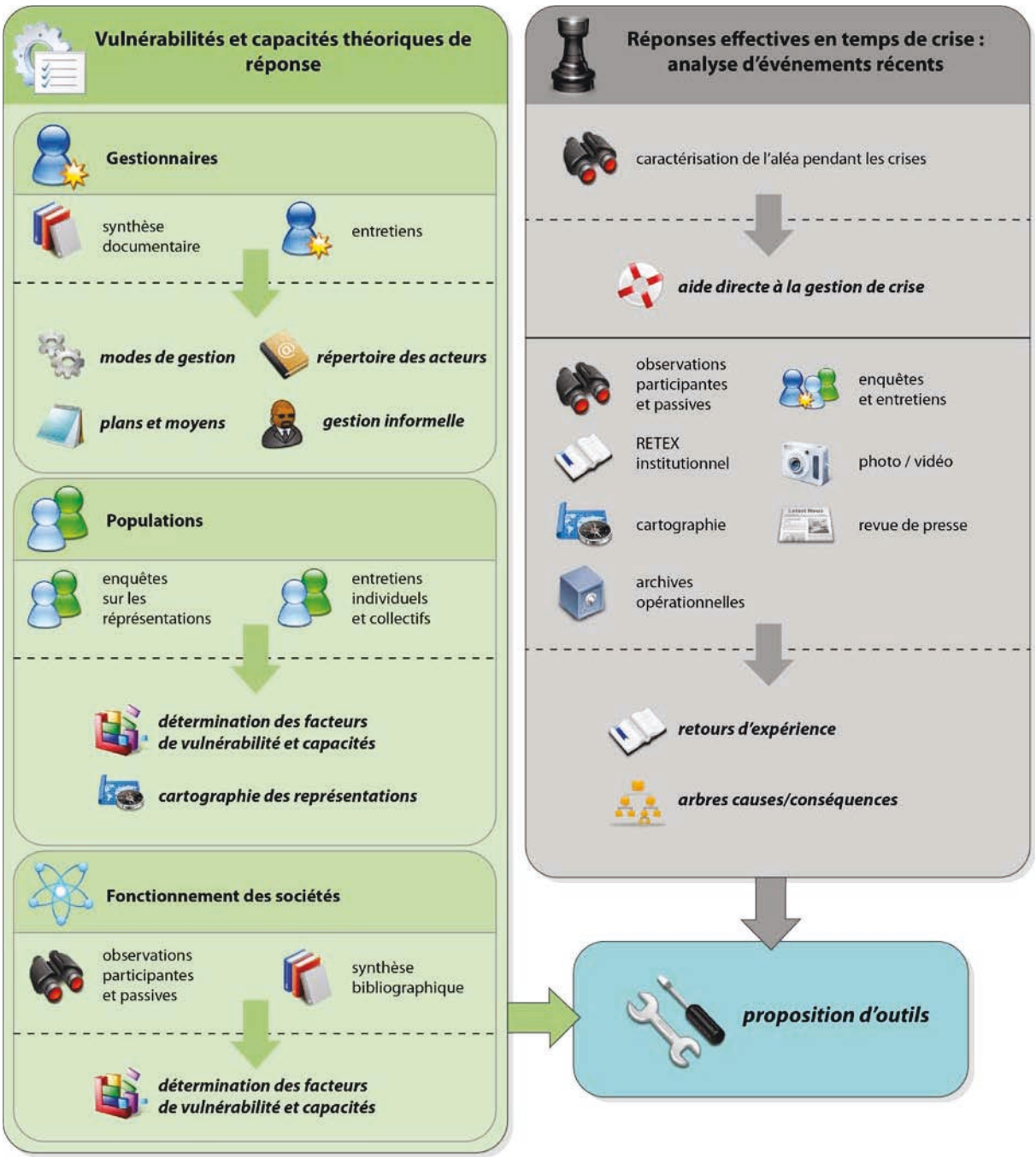
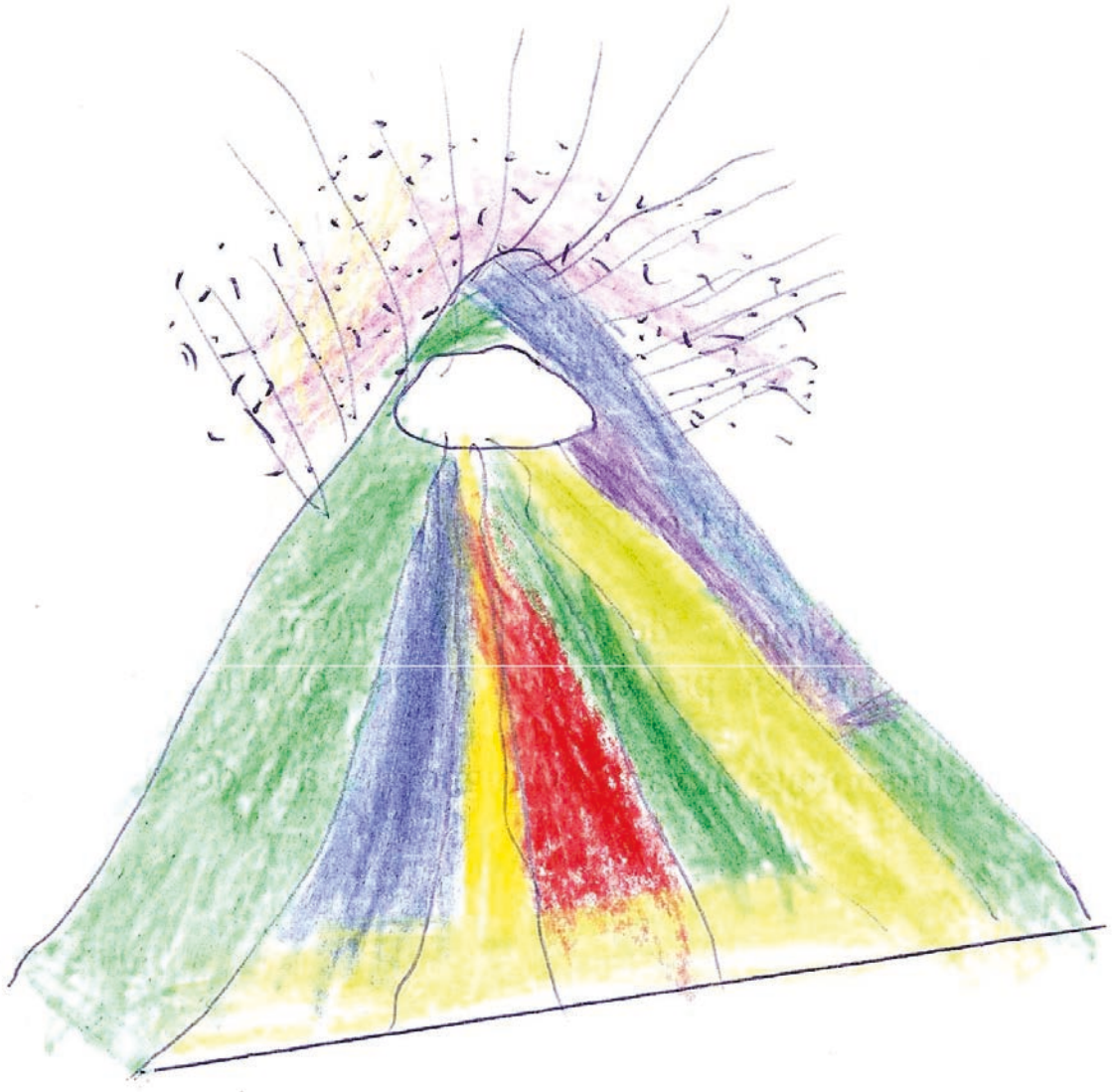



*Figure 35 - Synthèse des approches méthodologiques et résultats obtenus*

# Chapitre IV - La gestion des crises volcaniques à La Réunion : simple formalité ou casse-tête?



Le Karthala par Saïd, en CE2 à Ndroude, mai 2007.

# Chapitre IV - La gestion des crises volcaniques à La Réunion : simple formalité ou casse-tête?

Les dernières décennies ont été marquées par de nombreuses éruptions du Piton de la Fournaise. Elles ont peu à peu permis d'établir les modalités de gestion des crises volcaniques à La Réunion, aujourd'hui synthétisées dans un Plan de Secours Spécialisé Volcan. Celui-ci fixe les grandes lignes de la gestion, modulables en fonction des caractéristiques de l'activité éruptive et de la sensibilité des autorités préfectorales successives. La gestion de chaque éruption demande ainsi des adaptations, soit pour permettre l'accès aux sites éruptifs à un public nombreux dans la caldeira de l'Enclos Fouqué (ce à quoi se résume principalement la question de la gestion des crises volcaniques à La Réunion), soit, plus rarement, pour faire évacuer des zones habitées menacées hors Enclos.

Le déclenchement régulier du PSS volcan a permis d'acquérir une expérience solide en la matière. Il n'en reste pas moins que cette gestion est loin d'être exempte de défaillances, comme nous le mettons en évidence dans un retour d'expérience sur l'éruption d'avril 2007.

Une synthèse de ces défaillances et des points forts qui les contrebalancent est établie en fin de chapitre, servant de base à une réflexion sur les solutions envisageables pour une gestion optimisée.

## 1. Evolution de la gestion des crises volcaniques a La Reunion jusqu'a l'eruption majeure de 2007

### 1.1. Leçons tirees de l'activite eruptive du Piton de la Fournaise du milieu du XXeme siecle a 2006

Plusieurs éruptions ont permis de tester le dispositif opérationnel réunionnais ces dernières décennies. Certaines ont seulement nécessité la régulation de l'accès aux sites éruptifs en parties basses ou hautes de l'Enclos, d'autres une intervention auprès de populations menacées en zones habitées (notamment les éruptions hors Enclos de 1977, 1986, 1998, et celle de 2002 en raison d'une suspicion de coulée hors Enclos). Ces événements ont permis de constituer une expérience significative en matière de gestion des crises volcaniques à La Réunion, et, pour certains, de faire évoluer les modalités de gestion.

#### 1.1.1. 1961-1972 : de l'aménagement de l'accès aux éruptions aux premières interdictions

En 1961, une éruption qui durera trois semaines prend place à 1200 m d'altitude dans le Grand Brûlé. De nuit ses lueurs sont visibles jusqu'à Saint-Denis. L'ONF trace pour la première fois un sentier permettant d'en faciliter l'accès depuis les Bas. Le premier week-end 50 000 personnes affluent des deux côtés de l'Enclos pour l'observer, créant « *le plus grand embouteillage de l'histoire de l'île. La plupart des automobilistes coincés sur une route étroite qui n'avait jamais été prévue pour une telle affluence, durent passer 24 heures sur place !* » [Gérente 2012a] .

L'ouverture de la route forestière du volcan (RF5) en 1968 permet au public réunionnais de venir observer en masse sa première éruption sommitale en août 1972. Cet afflux de visiteurs inquiète la Préfecture qui promulgue le premier arrêté interdisant l'accès à l'Enclos le 9 août. Face à la polémique suscitée, la Préfecture revoit l'arrêté. L'accès à l'éruption est autorisé pour les personnes accompagnées d'un guide accrédité par l'ONF, après inscription en sous-préfecture de Saint-Benoît. Le week-end suivant, le fait qu'il

y ait peu de guides disponibles pousse les personnes inscrites à entreprendre la randonnée malgré l'arrivée du mauvais temps, de peur de ne pouvoir figurer à nouveau sur les listes. Les groupes sont pris dans une tempête qui fait trois morts et dix blessés. La polémique enfle tandis que l'activité décline. Sa reprise en septembre, à une heure de marche du Pas de Bellecombe, entraîne la suppression de l'arrêté préfectoral et l'afflux de 5 000 personnes le premier week-end de beau temps qui suit la réouverture. En octobre, l'activité migre loin du Pas de Bellecombe. « *L'impact médiatique retombe, les Réunionnais ont vu une éruption de près. Seuls quelques rares "afficionados" vont désormais se rendre sur les sites actifs* » et « *les interdictions d'accès à l'Enclos n'auront plus cours jusque dans les années 90* » [Gérente 2012a].

### 1.1.2. Deux éruptions hors-Enclos aux impacts conséquents

#### ❖ *1977 : la naissance de Notre-Dame-des-Laves*

L'éruption d'avril 1977 reste l'événement marquant du XX$^{ème}$ siècle pour la plupart des Réunionnais. L'évacuation de 2500 personnes a permis d'éviter tout blessé mais 33 maisons ont été détruites à Piton Sainte-Rose et 290 ha de terres agricoles recouverts par la coulée [Souvet et Dorr 2000]. Le déroulement de cet événement est synthétisé en Tableau 14 et cartographié en Figure 36.

*Tableau 14 - Déroulement de l'éruption d'avril 1977 au Piton de la Fournaise*

| Date | Evénement |
|---|---|
| 24 mars | Après quatre mois d'inactivité, une fissure s'ouvre à 2000 m sur le flanc sud-est du Dolomieu, émettant des laves pendant une demi-journée. |
| 05 avril | Une nouvelle fissure s'ouvre sur les flancs nord-est du Dolomieu à environ 1900 m d'altitude, juste au pied du Nez Coupé de Sainte-Rose [Villeneuve et Bachèlery 2006]. |
| du 06 au 07 | Dans la nuit, la fissure se prolonge hors-Enclos. |
| 08 avril | Une nouvelle fissure s'ouvre à 1300 m. Dans la nuit, la coulée qu'elle émet s'arrête à 500 m du village de Bois Blanc. |
| 09 avril | Deux nouvelles fissures s'ouvrent : l'une vers 7h du matin à côté de celle du 8 avril, l'autre à 11h à 600 m d'altitude, 3 km plus au nord. La coulée de 50m de large qui s'échappe de cette dernière détruit 12 maisons à Piton Sainte-Rose pendant la nuit (coulée de gauche, Figure 36) . |
| 10 avril | Elle fait 250 m de large lorsqu'elle atteint la mer vers 2h30. |
| 11 avril | Une fissure émettant seulement des gaz s'ouvre à 500 m au-dessus de Piton Sainte-Rose. |
| 12 avril | Une nouvelle activité commence à 1500 m, au-dessus de Bois Blanc, à côté des sites éruptifs des 8 et 9 avril. Le village est évacué mais ne subit pas de dégâts. |
| 13 avril | La lave atteint à nouveau Piton Sainte-Rose à 18h30, détruisant 21 maisons et encerclant la gendarmerie (bâtiment bleu Figure 36) et l'église[78] avant de se jeter en mer vers 22h [Krafft et de Saint-Ours 1977]. |
| 16 avril | L'éruption s'achève. Les différents segments ouverts représentent une fissure longue de 10 km du point d'émission le plus haut au plus bas, dont 4 km hors-Enclos [Bachèlery 1999]. |

Cet événement revêt une grande importance du point de vue volcanologique : c'est la première fois qu'une éruption hors-Enclos est ainsi suivie et étudiée [Kieffer *et al.* 1977 ; Bachèlery 1999]. C'est elle qui « *a permis de prendre conscience de l'exposition au risque volcanique des populations des communes de Sainte-Rose et de Saint-Philippe* » et « *motivé les pouvoirs publics pour la mise en place d'un observatoire et d'un réseau de surveillance* » [Villeneuve et Bachèlery 2006]. L'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise voit le jour en 1979. En quelques années La Fournaise deviendra un des volcans les mieux instrumentés au monde. Parallèlement l'éruption de 1977 conduit à l'élaboration d'une annexe ORSEC « Eruption hors-Enclos » inspirée des dispositions prévues pour la protection des populations en aval des grands barrages. Elle comporte deux rubriques principales : d'une part l'alerte aux autorités, d'autre part

[78] Ce qui alimentera la ferveur religieuse ; depuis, l'église a été rebaptisée Notre-Dame-des-Laves.

l'alerte à la population, avec, pour celle-ci, l'alerte à l'évacuation pouvant être suivie de l'ordre d'évacuation [Bertile 1987].

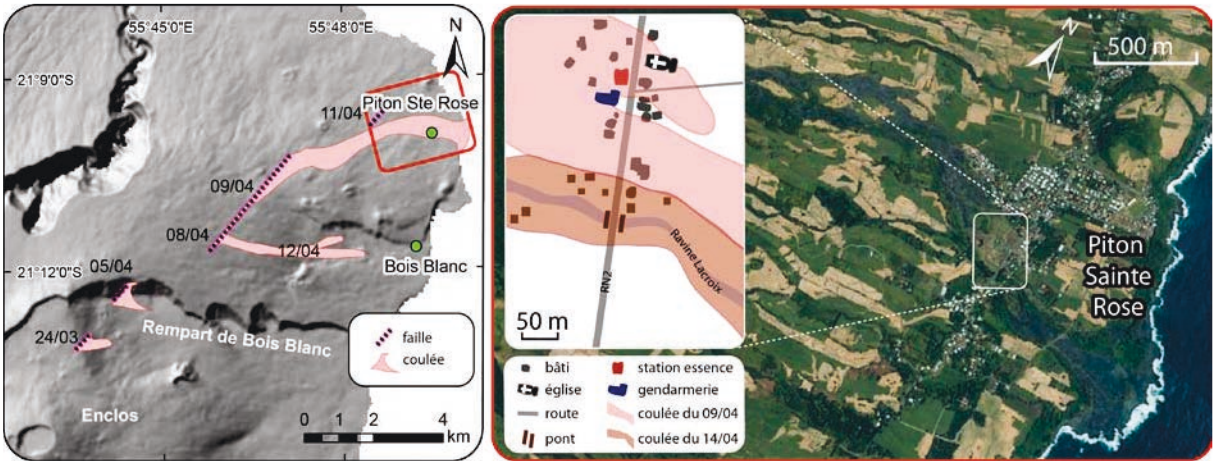



*Figure 36 - Coulées de 1977 à Piton Sainte-Rose (fonds IGN France Raster v2, & Google Earth, 2011) et dégâts occasionnés (modifié d'après Krafft et de Saint-Ours [1977])*

### ❖ *1986 : une répétition générale pour 2007 ?*

L'éruption de 1986 est celle sur laquelle nous apporterons le plus de détails. D'une part, elle est beaucoup mieux documentée que les précédents événements, tant sur le plan scientifique qu'opérationnel ; d'autre part elle comporte de nombreuses similitudes avec celle de 2007, similitudes qui permettront une comparaison et une évaluation des avancées de la gestion des crises entre ces dates. Les grandes phases de l'éruption sont détaillées en Tableau 15 et cartographiées en Figure 37.

*Tableau 15 - Phénoménologie synthétique de l'éruption d'avril 1986 au Piton de la Fournaise*

| Date | Evénement |
|---|---|
| A partir de 1985 | L'OVPF enregistre une activité sismique précursive. |
| 18 mars 1986 | Une crise sismique débute. |
| 19 mars | La crise sismique débouche sur une éruption à 1750 m d'altitude sur le flanc sud-est du Dolomieu. Elle n'a produit que $0,5x10^6m^3$ de lave lorsqu'elle s'achève quelques heures plus tard [Villeneuve et Bachèlery 2006]. |
| 20 mars | A l'aube une nouvelle fissure de 700 m de long s'ouvre hors-Enclos dans la rift-zone sud-est vers 900 m d'altitude. La coulée qui s'en échappe est divisée en deux bras au niveau du Piton Takamaka. Le bras nord atteint l'océan en empruntant la ravine Citrons Galets ; le bras sud, qui s'écoule dans la ravine Takamaka, s'arrête en contrebas de la RN2.<br>Les vents d'Est entraînent le panache éruptif, créant une couche nuageuse bleutée vers 1200 m d'altitude sur le Sud et l'Ouest de l'île, jusqu'à Saint-Paul [Bertile 1987]. |
| 23 mars | Dans la continuité de celle du 19 mars, une nouvelle fissure de 800 m s'ouvre à seulement 30 m d'altitude, à l'Ilet-aux-Palmistes. Il en sort un magma visqueux fortement dégazé [Delorme *et al.* 1989] qui construit une nouvelle plateforme de 24 ha en mer [Mairine *et al.* 2010]. Cet épisode est d'autant plus impressionnant pour les témoins qu'il est précédé de la formation, durant 9h, de fissures de plus d'un mètre de large sur la RN2 [Bachèlery 1999] ; il en sort de la vapeur en abondance. |
| 28 - 30 mars | Le réseau sismique est saturé, la localisation des séismes devient imprécise. |
| 30 mars | Une explosion phréatique se produit dans le Dolomieu, associée à la formation d'un pit-crater large de 150 m et profond de 80 m. Cet événement est concomitant de l'arrêt des éruptions hors-Enclos [Dubois 2007], ce qui prouve l'existence d'une connexion entre les points d'émission de basse altitude et la zone centrale du volcan [Bachèlery 1999]. |
| Jusqu'au 25 avril | L'activité sismique décroît progressivement jusqu'à son arrêt total. L'éruption a émis $9x10^6m^3$ de lave [Delorme *et al.* 1989]. |

L'éruption a entraîné l'évacuation de 109 familles du Tremblet et de l'Ilet-aux-Palmistes, soit 429 personnes. Huit maisons, 350 mètres de RN2, deux ponts, les réseaux électrique et d'adduction d'eau sont

engloutis dans le quartier du Tremblet. Bertile [1987] dresse un bilan détaillé des dommages que nous synthétisons en Annexe 11.

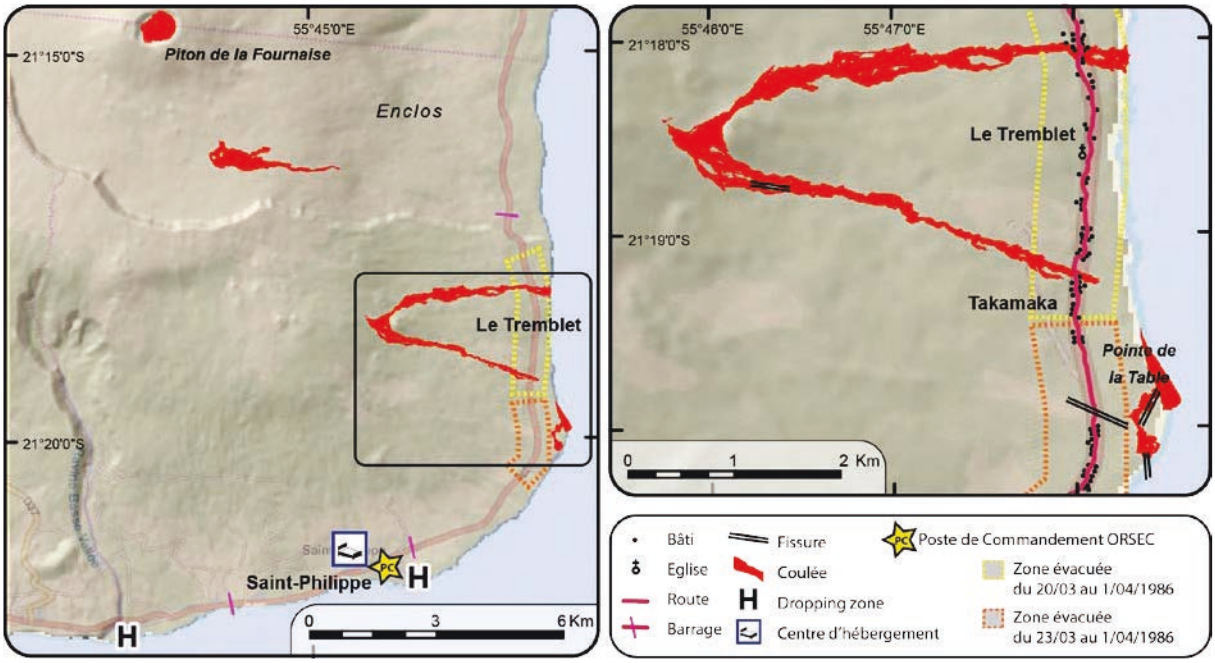



*Figure 37 - Dispositif opérationnel déployé face aux coulées de 1986 à Saint-Philippe (modifié d'après Bertile [1987])*

Villeneuve et Bachèlery [2006] soulignent que cette éruption « *constitue un excellent exemple du bon fonctionnement du plan et de l'optimisation des secours* ». Sur le plan opérationnel, elle prouve en effet la bonne réactivité des collectivités (DDE, SDASS, ONF, Service Transmissions de la préfecture, mairie, …) et de certains citoyens. Wilfrid Bertile, à l'époque maire de Saint-Philippe, dresse également dans son ouvrage [Bertile 1987] le constat d'une gestion de crise bien menée, soulignant toutefois directement ou indirectement quelques ombres au tableau :

- **Un réseau sismique « sourd » hors-Enclos**

1986 est la première éruption hors-Enclos instrumentée par l'OVPF. Élément essentiel mis en évidence sur le plan volcanologique : la progression latérale de l'intrusion sur les flancs a été accompagnée de déformations de surface localisées mais a été très discrète d'un point de vue sismique : leur ouverture n'a pas pu être correctement observée. Cela est lié au fait que les intrusions magmatiques progressent sans effort sous l'effet de la seule pression hydrostatique dans les rift-zones de la Fournaise [Bachèlery 1999]. Il faut aussi tenir compte du fait que les fissures hors-Enclos étaient situées en dehors du réseau de surveillance. Il est alors doté de 14 stations sismiques, d'un réseau de déformation développé (25 stations) et d'un réseau magnétique composé de 4 stations [Delorme *et al.* 1989]. Le réseau sismique a depuis été complété hors-Enclos au Sud par l'implantation de trois stations supplémentaires [Dubois 2007], dont une pendant l'éruption, à la Crête, dans les Hauts de St-Joseph [Bertile 1987]. Le 20 mars à l'aube, ce sont donc les habitants du Tremblet qui, apercevant une épaisse fumée au-dessus du village, alertent la mairie et la gendarmerie. Une reconnaissance aérienne est alors engagée.

- **Une erreur d'interprétation synonyme de dégâts accrus**

Les observations menées lors de cette première reconnaissance aérienne conduisent à penser que le bras nord de la coulée va emprunter la ravine Pavée. Le Préfet ordonne l'évacuation des familles habitant entre la ravine Citrons Galets et le Brûlé de Takamaka. Vers 10h, une seconde reconnaissance permet de

localiser la coulée dans la ravine Citrons Galets : l'évacuation se poursuit alors jusqu'à la pointe du Tremblet (Figure 37) mais l'ordre d'évacuation tardif ne permet plus de vider les maisons menacées : 7 familles perdent tout, soit 70% du total des pertes mobilières liées à cette éruption.

- **Des barrages polémiques vs. des flux de visiteurs ingérables**

Dès 11h30 le 20 mars la circulation est interdite entre Saint-Philippe et Bois-Blanc. A 15h, la RN2 est coupée par la coulée de Takamaka sous les yeux de 200 personnes. Le même scenario se reproduit à 21h30 quand « *1000 curieux contenus à grand peine, assistent à la traversée de la RN2 par la coulée des Citrons Galets* » [Bertile 1987]. Dans la nuit du 20 mars, le Tremblet est assailli par un défilé de visiteurs, parfois mal équipés, venus à pieds depuis Saint-Philippe à 6 km de là. Les voitures de service ont du mal à se frayer un chemin parmi les piétons. Le vendredi 21 mars, dès 8 h, un nouveau dispositif de sécurité est mis en place au nord des coulées par la gendarmerie. La circulation est interdite à Bois-Blanc et un barrage empêchant tout passage dressé au niveau de la vierge au Parasol. Le 23 mars, c'est depuis Basse-Vallée que les véhicules autres que de sécurité ou des riverains sont arrêtés. De là, des autocars et taxis collectifs emmènent les gens sur site. Le produit des navettes est reversé aux *sinistrés du volcan*. Pour les habitants de Saint-Philippe les conditions de circulation et les barrages successifs perturbent la vie quotidienne. Quant aux curieux frustrés, ils s'en prennent verbalement (voire physiquement du côté de Sainte-Rose) aux forces de l'ordre. Il faut dire que la question des passe-droits au niveau des barrages crée déjà des tensions à l'époque [Bertile 1987].

Les barrages interdisant l'accès total à la zone évacuée sont d'ailleurs inefficaces auprès des « locaux » qui y accèdent par des sentiers forestiers connus d'eux seuls. Des vols recensés dans cette zone obligent la gendarmerie à installer un poste à l'école du Tremblet pour organiser des patrouilles de surveillance.

L'événement a fait l'objet d'une intense couverture médiatique. Lorsque les restrictions à la circulation sont levées début avril, les visiteurs affluent. Le dimanche 6 avril, 15 000 voitures créent un embouteillage mémorable. Une fois sur place, de nombreux visiteurs dégradent les tunnels sous laviques pour ramener de la lave en souvenir, et se permettent d'entrer sur les terrains privés d'où ils emportent de la vanille.

Maurice Krafft profite de cette éruption pour obtenir la création de la Maison du Volcan, qui doit constituer un lieu où les spectateurs peuvent assister sans risque à une éruption et en comprendre le fonctionnement. Son inauguration a lieu en 1992.

- **Des tensions autour des aides apportées pendant et après la crise**

Si des animations sont prévues au centre d'hébergement pour occuper les enfants, globalement les adultes s'ennuient. La mairie décide d'en payer certains pour y accomplir des tâches. Cela marque le début d'une désolidarisation : les individus non rémunérés ne veulent plus participer à aucune tâche.

Une seconde erreur « socio-stratégique » consiste à employer des chômeurs, parfois extérieurs au Tremblet, pour le transport à dos d'homme de nourriture (fournie gracieusement par l'Union Réunionnaise des Coopératives Agricoles) pour les animaux restés en zone évacuée. L'ONF a aménagé un sentier pour accéder à la zone enclavée dès le 22 mars. [Bertile 1987] souligne que « *les bénéficiaires auraient pu et dû s'en charger* ».

Un gros élan de solidarité se manifeste au sein de la population réunionnaise, des dons, notamment en nature, affluent à la mairie de Saint-Philippe. Le 24 mai, un *Comité d'Aide aux Sinistrés du Volcan* est créé à l'hôtel de ville, il recueille plus d'un million de francs. Une polémique naît rapidement autour de l'utilisation des fonds. « *Certains habitants évacués non sinistrés se faisaient l'apôtre d'un faux égalitarisme en demandant que les sommes recueillies soient de façon égale remises en espèces aux familles, accusant*

*les responsables de s'en mettre plein les poches.* » [Bertile 1987]. Ils organisent même un barrage sur la RN2 à la coulée Takamaka le 6 mai. Une réunion d'information publique se tient le 6 juillet à l'école du Tremblet pour *rétablir certaines vérités*. Bertile [1987] concède que « *répartir équitablement ces aides était une tâche délicate* », malgré tout des remises de chèques ont été faites aux familles sinistrées au prorata des dommages subis (dommages que certains administrés gonflent exagérément pour leur demande d'indemnisation…). Ainsi, l'auteur révèle la mentalité d'assistanat qui s'est développée à cette occasion, tout en dénonçant les délais d'attribution de l'aide d'urgence débloquée par l'Etat qui interviendra seulement en juillet.

L'année suivant cette éruption, la législation à l'échelle nationale est marquée par la mise en place des Plans de Secours Spécialisés (PSS ; loi n°87-565 du 22/07/87) qui complètent les dispositions générales figurant sur les plans ORSEC.

### 1.1.3. Les faits marquants des années 1990

Alors que le volcan intéressait un nombre généralement réduit d'observateurs jusque dans les années 1980 et que les médias apprenaient l'éruption parfois après son déclenchement par télex ou porteur [Martel-Asselin 2010], la construction de la route forestière et de l'OVPF modifient profondément le rapport au volcan qui devient un lieu de loisir « consommable » dès le début des éruptions. En réponse, les autorités mettent à nouveau en place des interdictions destinées à assurer la sécurité des foules qui assaillent le volcan, quitte à leur en interdire l'accès.

#### ❖ *1992 : nouvelles interdictions et création du PSS*

Le 27 août à 12h, des fissures s'ouvrent sous les yeux de randonneurs au bord du Dolomieu. Cette éruption met en évidence le risque de déclenchement rapide d'éruption pouvant surprendre des randonneurs ou empêcher leur retraite. Elle entraîne donc la mise en place, le 11 septembre, de l'arrêté préfectoral n°2899 interdisant la descente dans le cratère.

Le premier PSS Volcan est élaboré en octobre. Il décrit le passé éruptif et le risque volcanique à La Réunion, les mesures de surveillance et d'alerte en vigueur, les principes d'organisation du commandement et missions des services en cas d'alerte ou d'évacuation. Le système d'alerte prévoit des phases de vigilance, pré-alerte, alerte et évacuation. La pré-alerte est restreinte aux services de l'Etat, sans être portée à la connaissance des médias ou du public qui ne sont informés qu'en phase d'alerte [Martel-Asselin 2010].

#### ❖ *1998, l'éruption du XXème siècle*

En mars 1998, une éruption marque le début d'un nouveau cycle éruptif à la Fournaise [Peltier 2007]. Elle va durer 196 jours sans interruption, donnant naissance aux cratères Hudson, Kapor et Krafft. Son déroulement est synthétisé en Tableau 16.

Les événements hors-Enclos (5 % des laves écoulées durant l'éruption [Villeneuve et Bachèlery 2006]) n'ont pas nécessité l'évacuation des populations. Au cours de ces 6 mois, la population, qui n'avait plus eu accès à une éruption depuis 1992, afflue massivement sur le site. Les autorités mettent en place un système de bus-navettes pour désengorger l'accès par la Plaine des Sables, en proie à des embouteillages de jour comme de nuit. *L'éruption du XX$^{ème}$ siècle* marque ainsi un pas décisif dans l'« aménagement » de l'accès au volcan en période éruptive.

*Tableau 16 - Phénoménologie synthétique de l'éruption d'avril 1998 au Piton de la Fournaise (source principale : [Bachèlery 1999])*

| Date | Evénement |
|---|---|
| 07 mars | Après 6 ans d'inactivité, une crise sismique débute à la Fournaise. |
| 08 - 09 mars | Dans la nuit, une série de détonations et séismes sont violemment ressentis au gîte du volcan [Gérente 2001]. |
| 09 mars | Une éruption débute vers 2150 m sur le flanc nord du Dolomieu à 15h05. |
| 09 mars - 04 août | L'activité éruptive est variable, des regains d'activité succédant à des périodes d'accalmie, pendant lesquelles la lave s'écoule parfois en tunnels. Les coulées progressent par à-coups dans le Grand Brûlé. |
| 04 août | Les coulées s'immobilisent à 2,50 m de la RN2. |
| A partir du 07 août | L'OVPF enregistre une migration du trémor du cratère Kapor, situé à la base Nord-Est du cône terminal, au Nez Coupé de Sainte-Rose. |
| 09 août | Une fissure d'un km de long s'ouvre à 1700 m d'altitude le long du rempart de Bois-Blanc, 6 km environ au-dessus du hameau. Le mauvais temps ne permet pas d'observation directe jusqu'au 12 août. |
| 12 août | L'hélicoptère de la gendarmerie permet de constater l'arrêt de l'activité hors-Enclos. |
| du 13 au 14 août | L'activité reprend de nuit dans la zone. |
| 15 août | Quatre coulées hors-Enclos sont observées. |
| du 20 au 22 août | Plusieurs bras de coulée s'épanchent dans le rempart à 1540 m d'altitude, retournant dans l'Enclos alors qu'ils n'étaient qu'à 4 km des premières habitations. |
| 22 août - 14 sept | D'autres bras de coulée progressent faiblement vers l'aval. |
| 14 septembre | Arrêt du trémor hors-Enclos. |
| 21 septembre | Le trémor au Kapor cesse : l'éruption est considérée comme terminée. |

### 1.1.4. Faits marquants des années 2000

#### ❖ *2002 : l'évacuation de Bois Blanc et des mesures d'interdiction étendues*

*Tableau 17 - Phénoménologie synthétique de l'éruption de janvier 2002 au Piton de la Fournaise*

| Date | Evénement |
|---|---|
| 05 janvier | Dans l'après-midi, l'OVPF détecte une migration du magma dans la rift-zone nord-est. |
| | Vers 23h, après une période de pré-alerte volcanique de 10 semaines, quatre fissures s'ouvrent sur le flanc nord-est au pied du Nez Coupé de Sainte-Rose vers 1850 m d'altitude. |
| du 05 au 12 janvier | Le magma poursuit son transit depuis le sommet vers la zone hors Enclos, tandis que l'activité décline. |
| 12 janvier | Une recrudescence d'activité se produit dans la nuit. Une fissure s'ouvre à 1050 m dans le rempart, la lave cascade de l'extérieur vers l'intérieur de l'Enclos [Villeneuve et Bachèlery 2006]. |
| 14 janvier | Les coulées coupent la RN2 à 11h au lieu-dit la Vierge au Parasol, puis arrivent en mer. |
| 15 janvier | L'OVPF détecte une forte sismicité dans le secteur de Bois-Blanc, laissant craindre une activité hors Enclos |
| 16 janvier | Vers 17h, l'éruption s'arrête brutalement. |

La sortie de la lave dans l'Enclos, le 5 janvier, est un soulagement pour les autorités, car la migration du magma laissait craindre une éruption hors-Enclos à basse altitude. Cette possibilité reste toutefois d'actualité. L'Enclos est fermé au Pas de Bellecombe à partir de 20h30. Des dizaines de randonneurs affluent pour observer l'éruption depuis le Nez Coupé de Sainte-Rose, mais le sentier est à son tour fermé le 6 janvier en raison de risques d'éboulement (bulletin OVPF sur l'éruption de 2002). L'activité déclinante, du 5 au 12, conduit au rétablissement de l'accès à l'Enclos, annulé seulement quelques heures après du fait de la recrudescence d'activité. A partir du 15 janvier, le dispositif opérationnel se renforce pour faire face à une éventuelle sortie hors-Enclos en lien avec la sismicité observée en zone habitée. Dans la matinée, les gendarmes obligent tous les curieux venus sur le site à battre en retraite, multipliant les

barrages filtrants. En parallèle, les écoles de Sainte-Rose sont transformées en centres d'hébergement soit 150 lits disponibles. La Plaine-des-Palmistes et Saint-Benoît sont susceptibles d'accueillir 4 000 personnes. Le plan ORSEC est lancé à 16h au PC avancé de Piton-Sainte-Rose dans l'optique d'une évacuation des 800 habitants Bois-Blanc. Devant le maintien de l'activité sismique, l'évacuation est ordonnée vers 18h30. Le Maire de Sainte-Rose avertit ses administrés par mégaphone depuis une voiture, aidé de patrouilles de gendarmerie. Huit bus sont réquisitionnés par la sous-préfecture de Saint-Benoit pour emmener les habitants. La plupart ont préféré rejoindre de la famille par leurs propres moyens. Certains, qui refusent de partir par peur des vols ou pour s'occuper des animaux, doivent laisser leur numéro de téléphone aux gendarmes et signer une décharge. Les forces de l'ordre surveillent le site 24h/24 (JIR, 16/01/02). La plupart des habitants regagnent Bois-Blanc le 16, après l'arrêt de l'activité éruptive. Le plan ORSEC prend fin le 17 à 16 h. Opérée « *à titre préventif et de façon méthodique* », cette évacuation a été moins traumatisante que celles de 1977 ou 1986 décidées « *dans la confusion à mesure de l'apparition des coulées* ». Même si elle a été décidée « *pour rien* », elle « *montre l'étendue des avancées obtenues en une vingtaine d'années d'existence de l'observatoire volcanologique* » selon un article du JIR daté du 11/01/02 (in [Souvet et Dorr 2012]). L'OVPF tempère toutefois cette vision, précisant qu'il n'a pas été consulté pour décider de l'évacuation (T. Staudacher, com. pers.).

En décembre 2002, une importante crise sismique sous le Dolomieu fait craindre une explosion phréatique de grande ampleur. L'Enclos est interdit d'accès, mesure dont le respect est facilité par la pose d'un portail cadenassé au pas de Bellecombe en novembre, remplaçant la traditionnelle pancarte en travers du sentier [Martel-Asselin 2010]. Cette mesure aurait été prise pour éviter aux gendarmes d'avoir à mobiliser du personnel pour faire respecter les arrêtés à chaque éruption. A la mi-décembre, l'interdiction d'accès est étendue à la Plaine des Sables dans son ensemble et le gîte du volcan est évacué. La crise sismique s'achève finalement sans conséquences [Gérente 2012b].

#### ❖ *De l'accident de 2003 à la révision du PSS Volcan*

Fin août 2003, une nouvelle éruption donne lieu à la formation du Piton Payanké dans l'Enclos, à proximité du Pas de Bellecombe. Sa facilité d'accès entraîne une ouverture rapide de l'Enclos et un afflux de visiteurs peu commun pour l'époque [Gérente 2012b]. Le 27 août, une heure avant la fin de l'éruption, un étudiant réunionnais cherchant à photographier l'éruption chute dans une fissure où il meurt asphyxié et brûlé [Ubyrisk-Consultant 2011]. La famille engage un procès contre l'Etat, selon elle responsable d'un balisage défectueux, procès toujours en cours en 2011. Bien qu'il marque les consciences, l'événement n'entraîne pas de durcissement immédiat de la politique d'accès aux sites éruptifs. L'évolution de cette politique semble essentiellement corrélée à la vision plus ou moins souple des décideurs en place. En 2004, les autorités permettent ainsi à 40 000 personnes d'assister à l'entrée des coulées en mer, faisant rapidement aménager par l'ONF des sentiers d'accès et plateformes d'observation. Suite à cette éruption, un réseau de 14 km de sentiers forestiers est tracé le long du littoral entre le Tremblet et Bois Blanc, avec des pistes transversales permettant un accès rapide depuis la RN2. Il est inauguré en octobre 2005.

Le même mois, paraît également la nouvelle version du PSS Volcan[79] [Préfecture de La Réunion 2005]. Il a été entièrement révisé sous la double influence de la politique nationale de modernisation de la protection civile[80] et des apprentissages tirés des dernières éruptions. Dans ce nouveau document de 71 pages, la « préalerte » devient « vigilance volcanique », et son déclenchement fait désormais faire l'objet d'un porter-

[79] Arrêté n° 2740 du 7 octobre 2005.

[80] Loi n° 2004-811 du 13 août 2004.

à-connaissance des médias et du public alors qu'il était jusque-là restreint aux services de l'Etat. A quelques évacuations de zones habitées près, la gestion des crises à la Fournaise réside essentiellement dans la gestion des flux de visiteurs via des autorisations ou interdictions d'accès par les autorités préfectorales. La gestion de l'accès aux sites éruptifs fait donc désormais l'objet d'un chapitre à part entière, afin de « *permettre à la population de bénéficier du spectacle de son volcan dans des conditions de sécurité maîtrisées associées à une véritable démarche d'information et de responsabilisation des visiteurs sur les sites éruptifs* » [Préfecture de La Réunion 2005]. Il définit les modalités d'accès à l'Enclos et les mesures à prendre pour « *la gestion des grands rassemblements et de la circulation en cas de coupure de la RN2 par la lave (sur la base des enseignements tirés des éruptions d'août 2004 et de février 2005) ou lorsque l'éruption est visible depuis le Pas de Bellecombe (mars 1998)* ». Ces évolutions se basent donc sur le RETEX des crises éruptives passées. A côté du portail du Pas de Bellecombe (ouvert ou fermé) sont affichés, sur simple papier sous pochette plastique, les arrêtés préfectoraux mentionnant les différentes interdictions (notamment celle, permanente, de s'éloigner des sentiers balisés), et une présentation des lieux par le directeur de l'OVPF. Pendant les périodes de fermeture, les gendarmes verbalisent les contrevenants via des timbres-amendes.

## 1.2. MODALITES DE GESTION DE CRISE A L'AUBE DE L'ERUPTION DE 2007

### 1.2.1. Surveillance et prévision des crises volcaniques

L'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise (OVPF) dépend de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), auquel a été confiée la surveillance des volcans actifs français (décret n° 90-269 du 21 mars 1990). Créé en 1980, l'OVPF est aujourd'hui doté de quatre réseaux qui fonctionnent en continu, 24h/24 et 365 jours par an : réseau sismologique, de mesure des déformations, magnétique et radon. Au total une centaine d'instruments de surveillance est répartie sur 35 sites sur le massif de la Fournaise (Figure 38). A cela s'ajoutent des campagnes de mesures ponctuelles (thermiques, GPS, acoustiques, électriques, etc.). Le réseau est entretenu et perfectionné quotidiennement par le personnel de l'OVPF. Une dizaine de personnes se relaient, aidées d'étudiants et de chercheurs de passage [com. pers. OVPF]. En plus d'être un des volcans les plus actifs au monde, la Fournaise est ainsi l'un des mieux instrumentés. Les observations régulières qui en découlent font progresser les techniques de surveillance, les connaissances fondamentales et les capacités opérationnelles de gestion de crise. Depuis sa mise en place, l'OVPF a prévu 100% des éruptions survenues à la Fournaise. Trois problèmes se posent toutefois. Premièrement, la durée exceptionnellement courte des crises sismiques précédant les éruptions [Aki et Ferrazzini 2000 ; Di Muro *et al.* 2012] rend parfois impossible la diffusion de l'alerte et la prise de précautions par les autorités avant le déclenchement de l'éruption[81]. Deuxièmement, de nombreuses crises intrusives ne débouchent pas sur une éruption, tout en ayant les mêmes caractéristiques géophysiques, périodes de sismicité croissante, et parfois de déformations, que celles débouchant sur une éruption. Cela entraîne la diffusion d'un nombre important de fausses alertes. Enfin, la signature sismique des éruptions hors-Enclos est très faible, ce qui peut les rendre difficilement détectables. Pour pallier cette faiblesse, l'OVPF a développé un réseau inclinométrique hors-Enclos et opère une localisation systématique du trémor en temps réel. Il dispose également de sismographes mobiles qu'il peut implanter hors-Enclos en quelques heures en cas de nécessité.

[81] Les éruptions ont lieu de 20 à 150 minutes après le début de la crise sismique pour les éruptions sommitales [Di Muro *et al.* 2012], huit heures pour les éruptions les plus distales [Roult *et al.* 2012].

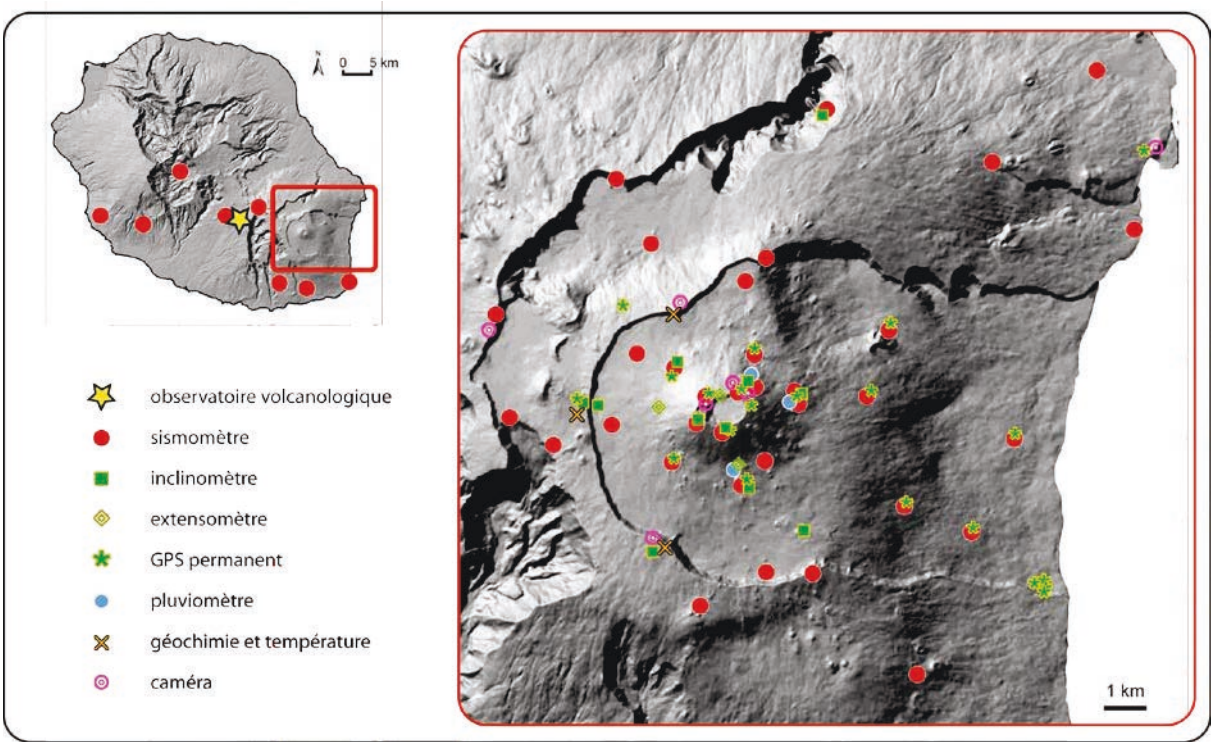



*Figure 38 - Réseau de surveillance du Piton de la Fournaise (modifié d'après données Intranet OVPF consulté le 23/09/2011)*

### 1.2.2. Principaux rouages de la gestion opérationnelle des crises

#### ❖ *La planification des crises*

La planification de crise qui s'exerce à La Réunion est la même que dans n'importe quel autre territoire français. A l'échelle départementale, les plans ORSEC[82] permettent d'organiser la gestion d'événements de tous types nécessitant une réponse dans l'urgence pour la protection des populations [Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles 2006, 2009]. Jusqu'à la refonte du système ORSEC en 2004, des Plans de Secours Spécialisés (PSS), indépendants des plans ORSEC, permettaient de gérer un type de risque particulier. Le plan ORSEC était alors déclenché en complément des PSS en cas de dépassement des moyens ou d'étendue de l'événement à plusieurs départements. Pour le volcan à La Réunion, le plan départemental ORSEC était déclenché en complément du PSS à partir du niveau d'alerte 2, en cas d'événement majeur : par exemple une évacuation massive (EMZPCOI, 2005:28). Depuis, les PSS sont théoriquement des déclinaisons spécifiques dans le plan ORSEC, celui-ci constituant une base de gestion commune quel que soit la menace. Dans les faits, c'est le PSS qui continuait d'être utilisé tel quel à la veille de l'éruption de 2007. Cela explique que l'on entende parler indifféremment du « PSS Volcan » ou « Plan ORSEC Volcan » sur l'île. Notons qu'aucun exercice n'a jamais été réalisé pour tester cette planification, sans doute du fait de la fréquence des éruptions qui fournissent de nombreuses occasions réelles de l'éprouver.

En 2007, aucune des communes régulièrement sollicitées par la gestion des crises volcaniques à La Réunion ne s'était dotée d'un Plan Communal de Sauvegarde (PCS). Les PCS constituent l'outil opérationnel à disposition des maires en cas d'événement de sécurité civile. Ils déterminent les mesures immédiates de sauvegarde et de protection des populations, et fixent les modalités de diffusion de l'alerte

[82] Organisation de la Réponse de SEcurité Civile depuis le décret d'application n°2005-1157 de la loi de modernisation de la sécurité civile de 2004 ; de 1952, date de leur création, jusqu'à 2005, ORSEC signifiait ORganisation des Secours [Direction de la Sécurité Civile 2008] ; à La Réunion, le plan ORSEC départemental a été actualisé en 2009.

et des consignes de sécurité. Ils ont été rendus obligatoires par la loi de modernisation de la sécurité civile du 13 aout 2004 (décret d'application n°2005-1156) pour les communes soumises à un PPR approuvé ou un PPI (Plan Particulier d'Intervention) (DSC, 2008). Or, des PPR inondations n'ont été approuvés qu'en 2011 à Sainte-Rose, et en 2012 à Saint-Philippe et au Tampon [Prim.net 2012]. En 2012, les PCS de ces communes ne sont toujours pas réalisés. A l'heure actuelle, le PSS reste donc l'unique outil de planification pour la gestion des éruptions volcaniques à La Réunion[83].

### ❖ *Les acteurs de la gestion des crises*

Cette planification repose sur de nombreux acteurs dont les attributions sont synthétisées en Tableau 18. L'organisation et la complémentarité entre acteurs sont globalement bonnes, sans doublons ni conflits d'intérêt apparents.

*Tableau 18 - Synthèse des principaux acteurs impliqués dans la gestion des crises volcaniques à La Réunion*

| Acteur | | Attribution | Localisation |
|---|---|---|---|
| Scientifique | Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise (OVPF) | Surveillance de l'activité ; recherche scientifique ; information du cadre d'astreinte de l'Etat-major de Protection Civile en cas d'activité enregistrée ; proposition des passages aux différents niveaux d'alerte ; information du public sur l'activité par communiqués et messages sur répondeur | Plaine des Cafres (RUN) |
| | Laboratoire Géosciences Réunion, (LGSR) | Appui scientifique, technique et financier à l'OVPF | St-Denis (RUN) |
| | Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) | | Paris (FR) |
| | Observatoire Réunionnais de l'Air (ORA) | Surveillance de la qualité de l'air, déclenchement de seuils d'information et d'alerte selon les taux de toxicité fixés par la législation française ; modélisation de la dispersion des panaches | St-Denis (RUN) |
| | Volcanic Ash Advisory Center (VAAC) | Surveillance des cendres pour la sécurité aérienne, transmission des alertes à la DGAC | Toulouse (FR) |
| Etatique | Ministère de l'Intérieur, DGSC | Activation du Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle des Crises (COGIC) en cas de besoin | Paris (FR) |
| | Etat-major Zonal de Protection Civile de l'Océan Indien (EMZPCOI), Préfecture de La Réunion | Veille opérationnelle ; diffusion des alertes aux services concernés ; communiqués aux médias ; arrêtés d'interdiction et délivrances d'autorisations ; centralisation des informations sur la gestion opérationnelle de l'événement ; mobilisation et coordination des organismes en charge de la sécurité civile en temps de crise ; activation du Centre Opérationnel Départemental (COD) à partir du niveau d'alerte 2 ; décision et organisation des évacuations ; CR au préfet de l'évolution de la situation | St-Denis (RUN) |
| | Sous-préfectures de Saint-Benoît et Saint-Pierre | Coordination des Postes de Commandement Opérationnels (PCO) ; gestion de l'affluence du public, régulation des flux de circulation, évacuation des populations | St-Benoît et St-Pierre (RUN) |
| | Direction Départementale de l'Equipement (DDE[84]) | Arrêtés réglementant la circulation et le stationnement le long de la RN2 et matérialisation des interdictions ; mise en place des barrages et déviations ; recherche des moyens de transport nécessaires en cas d'évacuation ; remise en état du réseau routier | St-Denis (RUN) |
| | Office National des Forêts (ONF) | Fermeture/réouverture de la porte d'accès au Pas de Bellecombe ou d'un périmètre plus large si nécessaire à réception de l'arrêté préfectoral d'interdiction d'accès ; affichage de l'arrêté préfectoral et des communiqués de la préfecture au départ des sentiers d'accès aux zones concernées par les interdictions, pose de panneaux signifiant les interdictions ; reconnaissance conjointe des itinéraires d'approche puis balisage ; en cas de coupure de la RN2 fermeture des sentiers d'accès au littoral | St-Denis (RUN) |

[83] A l'exception des Plans Particuliers de Mise en Sûreté, élaborés dans certains établissements scolaires, qui organisent en interne la sécurité des élèves et personnels dans l'attente des secours.

[84] Depuis le 1er janvier 2011, Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL), qui regroupe les prérogatives des anciennes DDE, DIREN, DAF (Direction de l'Agriculture et de la Forêt) et DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement).

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) | Mise en place des Postes Médicaux Avancés (PMA) sur les lieux de l'événement ; prise en charge des blessés ; opérations de secours en cas d'évacuation ; activation du CODIS en cas de besoin | St-Denis (RUN) |
| | SAMU | Participation aux PMA à la demande du commandant des opérations de secours ; régulation médicale en cas d'évacuation de blessés | RUN |
| | Gendarmerie Nationale (dont pompiers, gendarmes mobiles et Peloton de Gendarmerie de Haute Montagne) | Survols de surveillance de l'activité ; évacuations de l'Enclos au déclenchement de l'alerte 1 et des zones habitées en cas de nécessité ; maintien de l'ordre, gestion des déplacements en cas d'affluence du public, vérification du respect des interdictions d'accès ; reconnaissance conjointe (préfecture, OVPF, ONF) préalable des itinéraires d'approche des éruptions en cas d'ouverture au public. | RUN |
| | Forces Armées en Zone Sud de l'Océan Indien (FAZSOI) | En situation d'urgence pallier l'insuffisance des moyens civils (surveillance, évacuations, hébergement, énergie, etc.) | St-Denis (RUN) |
| | Mairies | En cas de menace (éruption hors Enclos), de coupure de la RN2 par les coulées de lave, d'affluence massive du public sur la RN3 et la route forestière 5, mise en œuvre de tous les moyens communaux disponibles pour l'évacuation des habitants et l'organisation de l'accueil et de l'information du public. | Sainte-Rose, Saint-Philippe et le Tampon (RUN) |
| | Direction de la sécurité de l'Aviation Civile (DAC) | Transmission des mesures d'interdiction du poser d'hélicoptère dans la zone du volcan dès réception de l'arrêté préfectoral ; réglementation des survols du volcan pendant les éruptions. | St-Denis (RUN) |
| | Direction Régionale des Affaires Maritimes (DRAM)[85] | Interdiction de la navigation dans un périmètre de 300 mètres autour du point de contact des coulées avec l'océan. | St-Denis (RUN) |
| **Société civile** | Croix Rouge Française / PIROI | Aide sur les PMA ; appui en hommes et matériel en cas de dépassement prévisible des capacités de gestion étatique, équipes d'intervention rapide (EDIR) spécialisées dans les opérations d'urgence | St-Denis (RUN) |
| | Médias | Communication de crise ; activité participative de certains médias | RUN |
| | Population | Adoption de comportements adéquats pendant les crises ; collectifs de sinistrés pour les demandes d'indemnisation | RUN |

[85] Devenue en 2011 la Direction de la mer sud océan Indien (DM SOI) après fusion avec la DRAM des Iles Éparses, des services des phares et balises de La Réunion et de Mayotte et de la mission Polmar (DDE).

### ❖ *Transmission des alertes et mesures opérationnelles associées*

En cas de signe d'activité, l'OVPF informe le cadre d'astreinte de l'EMZPCOI (Etat-major de Protection Civile de l'Océan Indien) à la préfecture et propose le déclenchement du niveau d'alerte jugé adéquat (Tableau 19). La décision revient au préfet. Le cas échéant, l'alerte se diffuse ensuite théoriquement selon les modalités décrites en Figure 39 par le biais de communiqués type. Ce schéma, issu du PSS, est incomplet, omettant de citer certains acteurs participant au processus de gestion (ORA, CRF). Il est cependant complété d'un chapitre de cinq pages sur les missions des différents services en cas d'alerte.

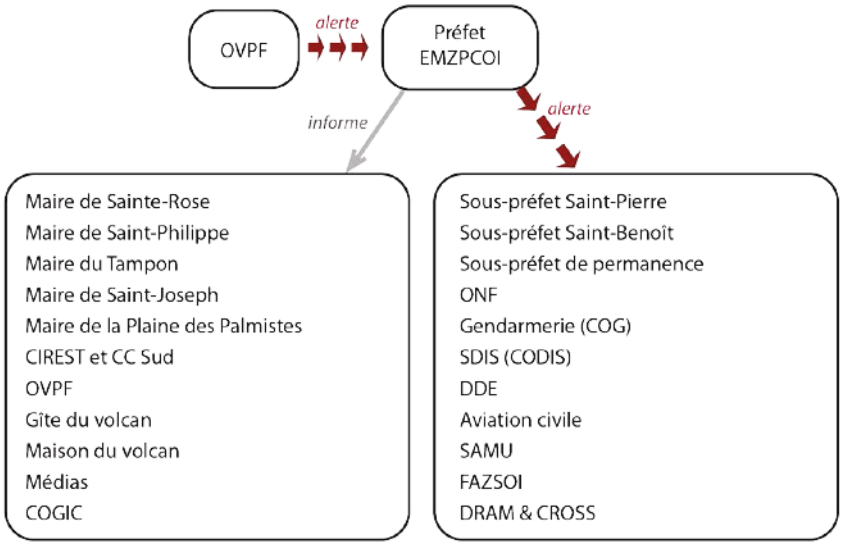



*Figure 39 - Schéma de diffusion de l'alerte en cas d'éruption volcanique (issu du PSS [Préfecture de La Réunion 2005])*

Des mesures opérationnelles d'urgence, parmi lesquelles la diffusion de consignes aux populations, sont associées à chaque niveau d'alerte[86] (Tableau 19). Il n'existe pas à La Réunion d'équivalent du Réseau National d'Alerte métropolitain. Aucune étude spécifique n'a par ailleurs été menée dans le cadre des réflexions actuelles sur la mise en place d'un système national d'alerte et d'information modernisé. Les alertes volcaniques et recommandations aux populations en temps de crise sont principalement diffusées en continu via les médias (dont internet), et directement sur panneaux informatifs sur les sites éruptifs. Pour favoriser la couverture médiatique, les journalistes et professionnels de l'image bénéficient, à la demande, d'une autorisation spéciale d'accès aux sites lorsque ceux-ci sont interdits au public.

Les actions engagées en cas d'alerte volcanique relèvent essentiellement de la mise en place d'interdictions d'accès et de gestion des flux automobiles et piétons. Elles sont synthétisées en Figure 40.

[86] Les couleurs adoptées dans ce tableau ne sont pas officiellement associées aux différents niveaux d'alerte, même si la presse et les scientifiques en font communément usage lors de leurs communications.

| Niveau d'alerte | Phénomènes associés | Mesures d'urgence adoptées |
|---|---|---|
| **VIGILANCE VOLCANIQUE, Eruption possible** | ➢ Activité sismique et déformations sous la Fournaise ou hors-Enclos<br>➢ Eruption possible à court ou moyen terme (jours ou semaines) | ✓ Préfecture régulièrement informée de l'évolution de l'activité volcanique par l'OVPF<br>✓ Services concernés informés du passage en vigilance volcanique par un message d'alerte<br>✓ Communiqué diffusé aux médias puis message rappelant la vigilance volcanique publié au minimum une fois par semaine par la préfecture (EMZPCOI)<br>✓ Accès libre à l'Enclos |
| **ALERTE 1, Eruption imminente** | ➢ Détection d'une crise sismique<br>➢ Eruption probable dans les heures à venir | ✓ Réunion interservices à la préfecture : point de situation destiné à l'information des services concernés et organisation de la gestion de l'événement<br>✓ Communiqué du passage en alerte 1 aux services concernés et aux médias<br>✓ Fermeture de l'accès au public de la partie haute de l'Enclos et évacuation des randonneurs se trouvant sur site. Accès maintenu pour le personnel de l'OVPF, de l'ONF, des services de secours et de gendarmerie, et les titulaires d'une carte d'accès à l'Enclos<br>✓ Panneaux d'information mis en place par l'ONF<br>✓ Interdiction du poser d'hélicoptère dans la zone du volcan et possibilité de restriction de survol de la zone d'éruption en cas de menace d'explosion<br>✓ Mesures d'interdiction et d'évacuation élargies si les signes précurseurs laissent craindre un danger plus étendu |
| **ALERTE 2, éruption en cours** – 1er type | ➢ Eruption confinée les parties hautes de l'Enclos et du Grand-Brûlé<br>➢ L'éruption ne présente pas de menace directe pour la sécurité des personnes et des biens | ✓ Dans un premier temps, maintien des mesures prises en alerte 1 & communiqué du passage en alerte 2 aux services concernés et aux médias<br>✓ Accès à l'Enclos autorisé dans les plus brefs délais sans reconnaissance des sentiers si l'éruption se déroule dans une zone éloignée du sommet et ne présente aucun risque pour les visiteurs<br>✓ Mesures complémentaires prises si l'éruption est visible ou accessible depuis le Pas de Bellecombe :<br>- dispositif de sécurité au Pas de Bellecombe calibré en fonction de l'affluence sur le site : possibilité d'activer un PCO et un PMA<br>- régulation de la circulation automobile sur la route forestière 5 pour éviter la saturation des parkings du Pas de Bellecombe (480 places) et de Foc Foc (200 places). En cas d'affluence excessive, possibilité d'interdire la circulation depuis Bourg Murat et de mettre en place un service de navettes<br>- reconnaissance pour déterminer si le sentier d'accès au Piton Partage et au Piton de Bert peut rester ouvert au public ; service d'ordre mis en place aux deux points de vue en cas de forte affluence<br>- ouverture de l'Enclos uniquement en cas de stabilisation de l'activité et après reconnaissance de terrain conjointe préfecture- gendarmerie-OVPF-ONF et balisage par l'ONF<br>✓ Interdiction ou restriction de survol de la zone d'éruption en cas de menace de projections volcaniques<br>✓ Patrouilles de gendarmerie surveillant l'évolution de l'activité en cas de coulées dans les Grandes Pentes, circulation maintenue sur la RN2 |
| **ALERTE 2, éruption en cours** – 2ème type | ➢ Eruption menaçant de couper la RN2 ou hors-Enclos menaçant des zones habitées<br>➢ L'éruption présente une réelle menace pour la sécurité des personnes et des biens | ✓ Centre opérationnel de la préfecture (COD) et PCO activés au plus près des lieux de l'événement en cas de menace directe pour la sécurité des personnes et des biens ;<br>✓ Fermeture de la RN2 en fonction de la traversée prévisible des coulées de lave ; gestion optimisée des flux avant la fermeture<br>✓ En cas de coupure de la RN2 : libre accès des véhicules légers jusqu'à un point de retournement déterminé favorisant la fluidité de la circulation et le stationnement de part et d'autre des coulées ; ou parkings de regroupement à Notre-Dame-des-Laves ou au Puits Arabe et dispositif de navettes de bus pour l'accès aux coulées (option privilégiée en cas d'affluence massive de visiteurs)<br>✓ Evacuation des populations si des zones habitées sont menacées ; Plan ORSEC déclenché si nécessaire |
| **ALERTE 2, éruption en cours** | ➢ Persistance d'un danger à la fin d'une éruption | ✓ Prolongation possible des différentes mesures d'interdiction en cas de subsistance d'un danger & diffusion de consignes |
| **Alertes spécifiques** | ➢ Dangers particuliers liés à l'activité volcanique | ✓ Information aux médias par communiqués de presse précisant la nature de la menace et les recommandations émises en cas d'émission importante de cendres, de gaz ou de cheveux de Pele pouvant concerner une zone géographique plus ou moins étendue. |

*Tableau 19 - Niveaux d'alerte en cas d'éruption volcanique à La Réunion et mesures d'urgence associées en vigueur de 2005 à 2009 (d'après les données du PSS [Préfecture de La Réunion 2005])*

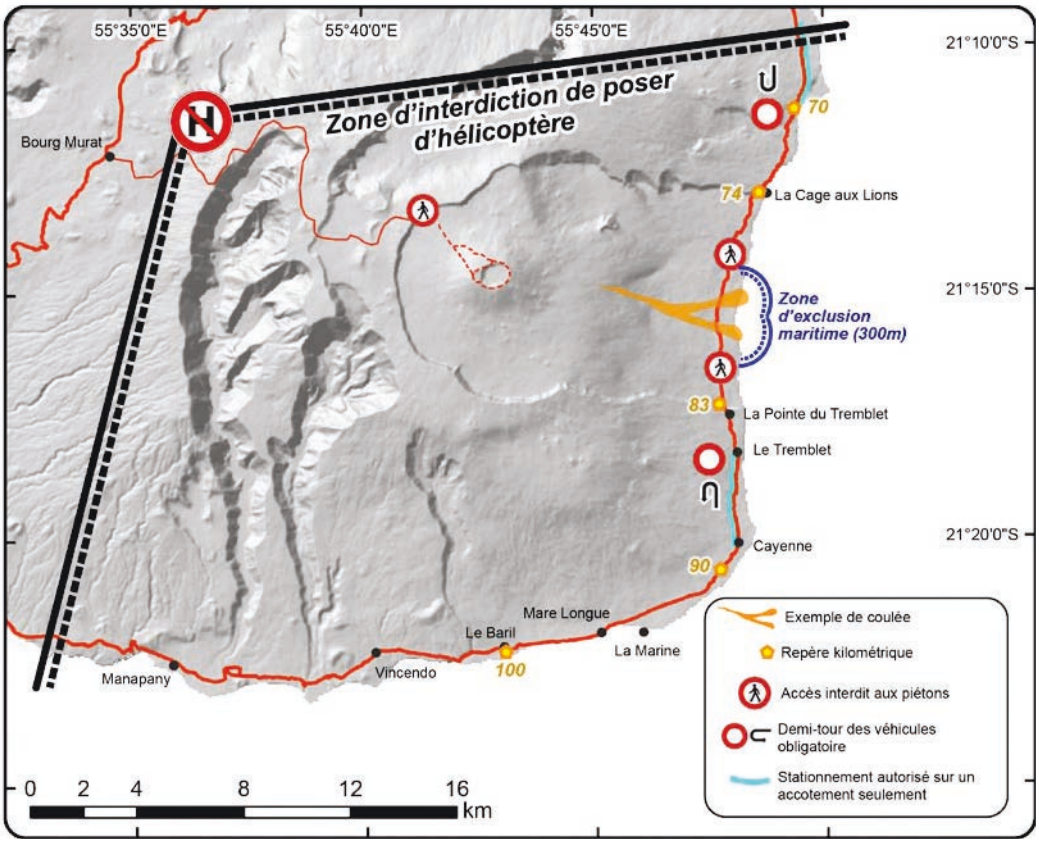



*Figure 40 - Principaux types de restrictions mises en place lors des éruptions du Piton de la Fournaise (décrits dans le PSS Volcan)*

Notons que la possibilité de mise en place des parkings de regroupement et navettes affrétées pour emmener le public au plus près de l'éruption (cf. Tableau 19) n'est dans les faits quasi jamais adoptée, faute de moyens et de volonté.

### ❖ *Principes généraux d'organisation du commandement et des secours*

En France, la direction des opérations de secours (DOS) repose en général sur le maire au titre de ses pouvoirs de police. Il lui appartient donc de diriger les secours et de rendre compte de son action au préfet[87]. Le préfet peut toutefois prendre la direction des opérations de secours, lorsque le maire ne prend pas les mesures nécessaires ou que la gravité de l'événement tend à dépasser les capacités locales d'intervention. Le maire assume alors toujours la responsabilité de la mise en œuvre des mesures de sauvegarde vis-à-vis des administrés sur son territoire (alerte, évacuation) ou des missions que le préfet peut être amené à lui confier (accueil de personnes évacuées par exemple). Fait remarquable à La Réunion, les autorités préfectorales s'érigent *de facto* en maître de la gestion des crises volcaniques, les maires ne faisant que les seconder lors des événements qui nécessitent la gestion de flux ou l'évacuation de population. Ce fonctionnement est systématique, quelles que soient les implications de l'éruption. Il peut être attribuable au fait que les éruptions touchent souvent plus d'une commune à la fois, situation dans laquelle les autorités préfectorales prennent effectivement légitimement le relais. L'absence de PCS dans les communes concernées par les éruptions (et leur faible budget de communes rurales isolées) pousse sans doute aussi à l'adoption décomplexée de ce système.

[87] Du fait de l'éloignement des centres décisionnels d'échelon supérieur, le préfet de Département est également préfet de Zone, il dirige donc l'ensemble des moyens civils et militaires de la zone.

A partir du niveau d'alerte 2, lorsque l'éruption présente une menace, le Centre Opérationnel Départemental (COD) est activé. Il peut alors décider de la mise en place de Postes de Commandement Opérationnel (PCO) et Postes Médicaux Avancés (PMA), (Figure 41). Leur composition et l'action des différents services impliqués sont données à titre indicatif dans le PSS. Elles peuvent varier pour être adaptées aux situations rencontrées et à l'ampleur de l'événement. Les liens avec le Poste de Commandement Communal (PCC) ne sont abordés à aucun moment, en cohérence avec ce qui a été souligné précédemment.

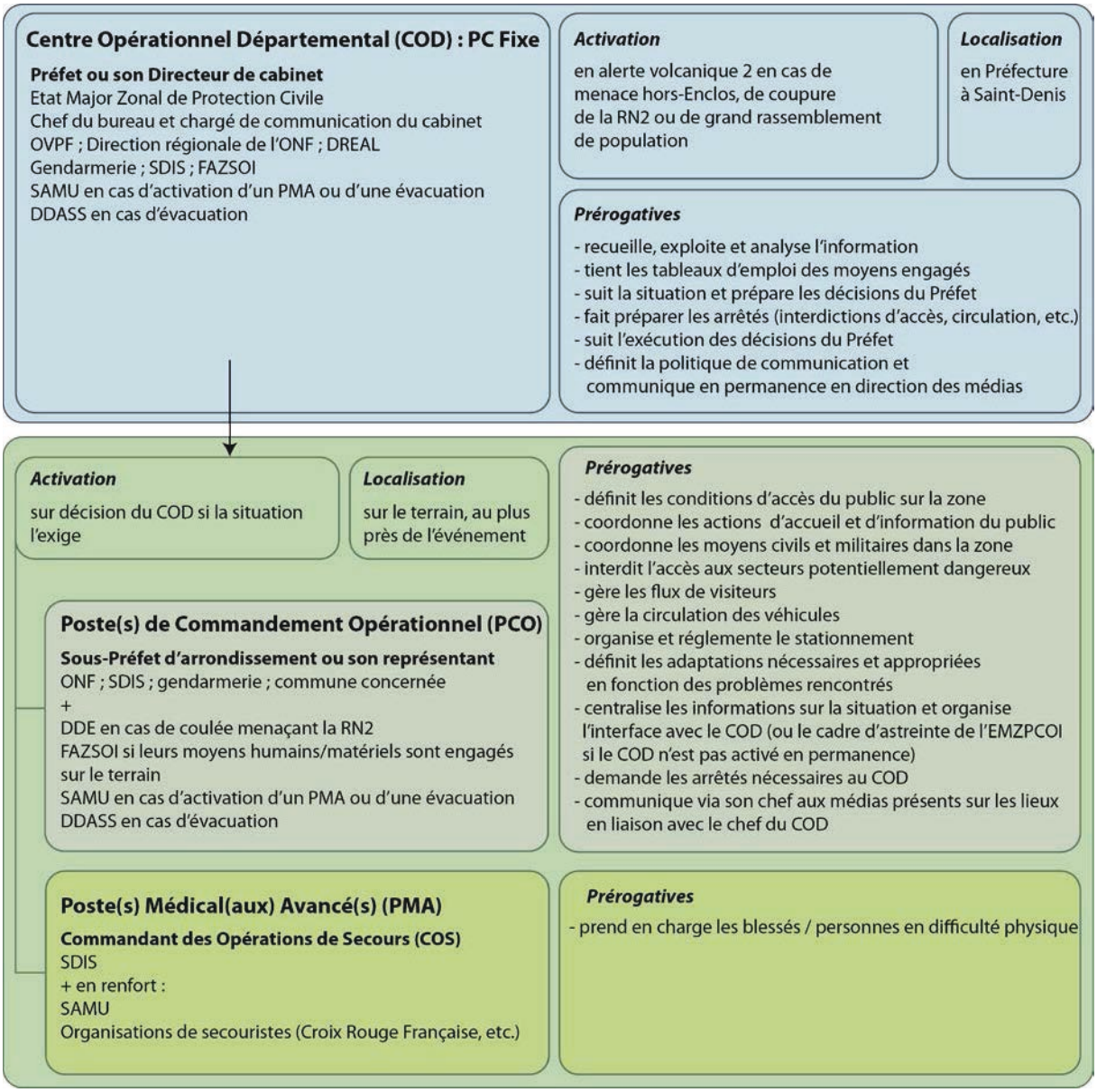



*Figure 41 - Organisation du commandement en temps de crise à La Réunion (réalisé d'après les données du PSS [Préfecture de La Réunion 2005])*

### ❖ *L'après-crise*

- **Régimes d'indemnisation des catastrophes naturelles**

En France, les risques considérés comme assurables, car statistiquement répartis, sont pris en charge par le dispositif assurantiel classique. Quand un agent naturel d'intensité anormale cause un sinistre, c'est le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles qui se substitue au dispositif classique (Annexe 12). La souscription d'un contrat d'assurance est toutefois une condition nécessaire pour bénéficier de l'indemnisation au titre du régime CATNAT. Or, le taux de souscription d'assurance habitation pour les

résidences principales n'est que de 59 % à la Réunion, alors qu'il dépasse 99 % en métropole [Calvet et Grislain-Letrémy 2010]. A l'inverse, l'analyse du nombre d'arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle montre que La Réunion se situe en limite haute par rapport aux autres départements français. Chaque commune de l'île a fait l'objet de quatre arrêtés CATNAT en moyenne depuis 2000 [SOGREAH 2010]. A la veille de l'éruption de 2007, aucun aléa volcanique n'a encore entraîné d'arrêté CATNAT. Les éruptions de 1977 et 1986 n'ont pu faire l'objet d'une telle procédure, le dispositif, en vigueur depuis 1982, n'ayant été étendu aux DOM-TOM qu'en 1990[88]. Le fonds de secours pour l'Outre-Mer complète le dispositif en délivrant une aide financière aux victimes des calamités publiques. Il est mobilisé pour les particuliers, les entreprises et les collectivités locales pour la partie non assurable de leur patrimoine (routes, ponts, réseaux d'eau potable), ainsi que pour indemniser les agriculteurs, les DOM n'étant pas éligibles au fonds pour les calamités agricoles en vigueur en métropole. Le fonds est toutefois destiné aux situations les plus critiques, lorsque les sinistrés se retrouvent en situation de grande précarité. Ils doivent par ailleurs fournir la preuve des pertes déclarées. Nous n'avons malheureusement pu accéder à aucune base de données sur l'attribution de ces fonds de secours à La Réunion.

- **Réalisation de RETEX**

La fréquence des situations de crise à La Réunion a permis de mettre en place des modalités d'organisation globalement satisfaisantes. L'absence de formalisation de retours d'expérience constitue toutefois un point d'achoppement majeur. Si des missions d'inspection ont été diligentées après les cyclones Dina et Gamède, et suite à la crise du chikungunya, aucun retour d'expérience n'a jamais été formalisé sur les crises volcaniques. La loi stipule pourtant qu'ils doivent être organisés sur initiative préfectorale, après tout recours au plan ORSEC[89]. Néanmoins, il n'existe pas, à l'heure actuelle, de dispositif organisé, diffusé au sein des acteurs locaux, permettant le recueil et la valorisation systématique des retours d'expérience [SOGREAH 2010]. Un manque, à n'en pas douter, dans la mesure où de nombreuses crises volcaniques abordées dans ce chapitre fournissaient une base d'étude intéressante pour permettre de mieux gérer les crises ultérieures, notamment celle de 2007.

## 2. AVRIL 2007 : GESTION PROBLEMATIQUE D'UNE ERUPTION ORDINAIRE OU SITUATION DE CRISE EXCEPTIONNELLE ?

L'éruption d'avril 2007 a été un événement important tant sur les plans scientifique que social. Elle a fait l'objet d'un numéro spécial du *Journal of Volcanology and Geothermal Research (JVGR n°184, 2009)*, de très nombreux reportages et articles de presse, et a durablement marqué les mémoires. Nous établissons dans cette sous-partie une synthèse des grandes phases phénoménologiques, un bilan des impacts liés à l'éruption, et une analyse des réponses opérationnelles, sociales et médiatiques associées. Nous tentons notamment de comprendre si les dysfonctionnements observés dans les processus de gestion de cette crise sont liés à l'exceptionnalité de l'éruption ou à d'autres causes. Le cas échéant, la recherche des fondements doit permettre de proposer des solutions utiles à la gestion des futures crises éruptives de la Fournaise.

La chronologie et les analyses ont été établies à partir des communiqués de l'OVPF, de la préfecture, de l'ORA, des articles scientifiques disponibles sur le sujet, et d'une revue de presse. L'ensemble de ces documents complète les observations partielles recueillies in situ pendant l'événement.

[88] Bertile [2011] mentionne une demande d'arrêté formulée pour Sainte-Rose en 2004 qui a fait l'objet d'un rejet.

[89] Conformément aux dispositions de l'article 5 du décret 2005-1157 du 13 septembre 2005.

## 2.1. UNE ERUPTION AUX CARACTERISTIQUES INHABITUELLES

Baptisée « éruption du siècle » par la presse, l'éruption d'avril 2007 est reconnue par les scientifiques comme le phénomène le plus important observé au Piton de la Fournaise depuis la création de l'OVPF. Ses caractéristiques éruptives et conséquences ont été inhabituellement fortes et la situent selon nous dans la catégorie des éruptions centennales à pluri-centennales de la Fournaise.

### 2.1.1. Chronologie de l'éruption du 2 avril 2007

#### ❖ *L'activité pré-éruptive : un transfert magmatique typique des éruptions de la Fournaise*

Le Piton de la Fournaise est souvent le siège d'événements polyphasés au cours desquels l'activité magmatique migre de la zone sommitale vers des zones latérale puis distale. A l'image de ce qui s'est produit en 2007, cette migration est généralement rythmée par trois phases éruptives (Figure 42).

A 14H38 GMT le 18 février, après une crise sismique de 27 minutes enregistrée par l'OVPF, une éruption de faible ampleur se produit dans le Dolomieu. Elle dure moins de 24h et produit moins de $1x10^6$ $m^3$ de lave [Staudacher *et al.* 2009]. Le 30 mars à 18H50 GMT, après 145 minutes de crise sismique, la deuxième éruption a lieu sur le flanc sud-est du Dolomieu à 1900 mètres d'altitude [Michon *et al.* 2007]. D'une durée d'environ 11h, l'éruption émet également un volume inférieur à $1x10^6$ $m^3$. Malgré la fin de cette éruption, la sismicité sommitale augmente, jusqu'au début de la troisième éruption de l'année 2007, le 02 avril [Staudacher *et al.* 2009].

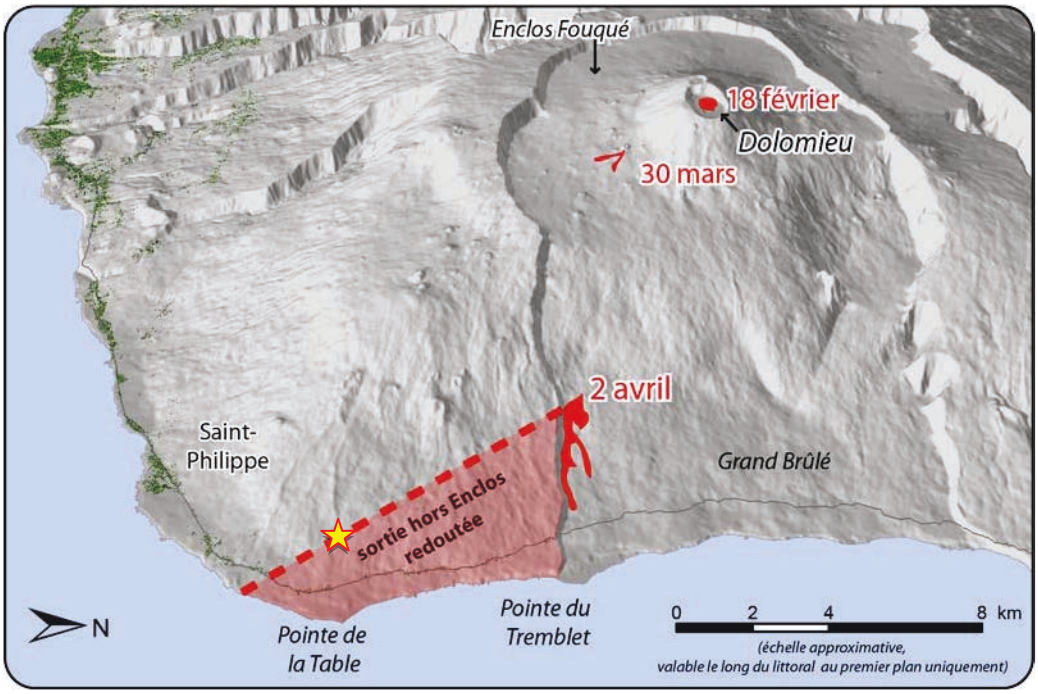



*Figure 42 - Migration de l'activité éruptive de la zone sommitale vers les zones basses en 2007 (l'étoile correspond au scenario de sortie retenu dans la suite du chapitre)*

#### ❖ *Chronologie succincte de l'éruption du 2 avril 2007*

La synthèse chronologique des phénomènes éruptifs marquants et épiphénomènes atmosphériques survenus lors de l'éruption est présentée en Tableau 20.

*Tableau 20 - Phénoménologie succincte de l'éruption d'avril 2007 au Piton de la Fournaise*

| Date | Evénement |
|---|---|
| 02 avril | Ouverture d'une fissure éruptive d'un km orientée NO-SE à 590 m d'altitude dans la partie sud du Grand-Brûlé ; fontaines de lave de plus de 50 m de haut ; coulées atteignant l'océan en quelques heures ; crainte d'une coulée hors-Enclos malgré l'absence de sismicité dans la zone du Tremblet (valable jusqu'à la fin de l'éruption) |
| 03 avril | Nombreux séismes de magnitude 2 à 3 sous le sommet annonciateurs d'un effondrement en zone sommitale, augmentation associée du trémor éruptif ; émanations de gaz volcanique jusqu'à Saint-Joseph |
| 04 avril | Trémor et sismicité en constante augmentation ; incendies du rempart au contact des coulées ; cheveux de Pele dans le Sud ; augmentation des concentrations en $SO_2$ dans le Sud et l'Ouest |
| 5 avril | 500 à 600 séismes sommitaux par jour, trémor très actif dans la région du Tremblet mais pas de sismicité en zone basse ; incendies dans le rempart ; débit de lave plus important (max. 60 km/h évalué dans les chenaux d'écoulement) et fontaines plus hautes ; entrée des coulées en mer ➔ panache de près de 3000 m d'altitude ➔ vog dans les régions du Sud et de l'Ouest, plusieurs millimètres de cendres au Tremblet ; formation d'une plateforme en mer de plusieurs hectares |
| 6 avril | Trémor en augmentation, débit de lave estimé à plus de 200 $m^3/s$, fontaines de 200 m [Michon *et al.* 2007], coulées de 60 à 70 km/h, cheveux de Pele dans le Nord et l'Est; une seule et même coulée large de plus d'un km entrant en mer ➔ panache jusqu'à 7000/8000 m, pluies de sable et lapillis à plus d'un km, ravines en crue, concentrations importantes en $SO_2$ sur l'ensemble de l'île, vog dans l'Ouest ; séismes jusqu'à Ma 5 sous le sommet à 1000 m, rétrécissement du Dolomieu de plusieurs cm, puis effondrement ➔ panaches noirs ➔ cendres observées jusqu'aux Plaines |
| 7 avril | Baisse de l'activité, trémor au tiers de sa valeur maximale, fontaines de lave de 40 à 50 mètres de haut, coulée ralentie, cheveux de Pele en grande quantité et cendres en faible quantité au NNE ; séismes sommitaux de magnitude > 3, explosions phréatomagmatiques détectées tous les quarts d'heure ➔ poursuite de l'effondrement, retombées de cendres en zone sommitale |
| 8 avril | Diminution régulière du trémor, débit des coulées irrégulier parfois très élevé, coulées en tunnels, fontaines de 50 à 100 m ; sismicité sommitale en baisse, éboulements de la paroi du Dolomieu, couche de cendres de plusieurs cm d'épaisseur au sommet |
| 9 avril | Trémor stable, fontaines de 25 à 30 mètres, baisse du débit des coulées. Poursuite des effondrements sommitaux, panache ; acidité des pluies au Tremblet et Saint-Philippe |
| 10 avril | Baisse du trémor, proche de son niveau initial en début d'éruption, une seule coulée de lave large de 40 mètres observée ; au sommet, séismes superficiels et nombreux effondrements (environ 2 par minute) ; disparition du trémor durant 15 minutes ➔ éruption annoncée terminée ; reprise du trémor 8 heures plus tard |
| 11 avril | Trémor par bouffées de 40 min toutes les 2 à 3h environ, fontaines faibles mais très fort débit, deux nouvelles coulées de lave visibles en surface ; poursuite des séismes et effondrements sommitaux |
| 12 avril | Trémor à nouveau stable, coulées plus lentes ; séisme de magnitude 3.5 enregistré au sommet à 15h09 : deuxième effondrement massif du Dolomieu, Bory partiellement affecté ➔ panache grisâtre de plusieurs centaines de mètres de hauteur en direction du NO aperçu sur toute la côte Est ; après l'effondrement, augmentation du débit et de la taille des fontaines |
| 13 avril | Diminution du trémor mais coulées de lave importantes ; retombées de sable volcanique et de pluies acides au Tremblet ; sismicité quasi continue sous le sommet |
| 14 avril | Sismicité quasi continue au sommet ; en matinée, augmentation du trémor, fontaines de 100 m à 200 m, coulées très fluides contre le rempart du Tremblet ; en fin de journée légère baisse du trémor, fontaines de 20 à 30 mètres, débit des coulées toujours important |
| 15 avril | Trémor à la baisse (valeur divisée de moitié par rapport à la veille), plus aucune projection visible ; effondrements répétés dans le Dolomieu ; diminution de la sismicité accompagnée de l'apparition de « gaz pistons » sous le Dolomieu Est ➔ possibilité d'une remontée du magma dans le Dolomieu |
| 16avril | Légère augmentation du trémor, nouvelles coulées visibles au Tremblet, incendies du rempart ; poursuite des « gaz pistons » ; effondrement de la Soufrière |
| 17 et 18 avril | Diminution du trémor, poursuite des « gaz pistons », sismicité profonde sous le sommet en dessous du niveau de la mer pouvant traduire une réalimentation profonde de la chambre magmatique supérieure ; pH de l'eau de pluie <3 au Tremblet |
| 19 avril | Trémor à un niveau très bas dans le Grand -Brûlé, aucune coulée de lave visible au Tremblet ; trémor au sommet à proximité du flanc Est attribué à un dégazage sur la paroi intérieure du Dolomieu |
| 20 - 28 avril | Trémor éruptif faible mais constant, coulées de lave abondantes dans le Grand-Brûlé, incendies du rempart, pluies de sable au Tremblet ; poursuite des séismes sommitaux, éboulements dans le Dolomieu ; séismes superficiels ressentis au Tremblet liés à l'instabilité de la plateforme littorale ; pH3 de l'eau de pluie à Saint-Philippe ; fortes concentrations en $SO_2$, seuil d'alerte dépassé plusieurs fois du 26 au 28 |
| 29 et 30 avril | Trémor à la baisse dans le Grand Brûlé, aucune fontaine visible, coulées en tunnels ; éboulements toujours nombreux, séismes sommitaux et profonds sous le Dolomieu entre -1 et - 5 km sous le niveau de la mer ; sismicité liée à la plateforme en mer |
| 1er mai | Disparition presque totale du trémor dans le Grand Brûlé vers midi (légère trace persistante), coulées émises le 1er qui continuent à s'écouler vers l'océan jusqu'au 2 mai, écoulement en tunnels ; poursuite des séismes sommitaux, profonds (jusqu'à -7 km) et éboulements, signes d'effondrement sous le flanc Est |
| 2 mai | Disparition totale du trémor, coulée de lave résiduelle en mer, poursuite du dégazage du cône éruptif ; poursuite des séismes sommitaux profonds et éboulements des parois du Dolomieu ; une suite à l'éruption n'est pas exclue, y compris hors Enclos |
| Après le 02 mai | Début d'une longue période marquée par des séismes sommitaux et profonds et plusieurs dizaines d'éboulements des parois du Dolomieu |

### 2.1.2. Avril 2007 : « l'éruption du siècle »

#### ❖ *Un événement de forte intensité dans les zones basses de l'Enclos*

La localisation de l'éruption d'avril 2007, à 590 m d'altitude seulement, lui confère un caractère exceptionnel. Jusqu'à 2007, seule une éruption historique avait pris place dans le Grand-Brûlé, en partie basse de l'enclos à 360 m d'altitude, en avril-mai 1943. Elle avait produit un faible volume de lave ($3.2x10^6$ $m^3$ de lave qui ont recouvert 0.4 $km^2$) [Bachèlery 1981] au regard des $230x10^6$ $m^3$ [Bachèlery *et al.* 2010] qui ont recouvert 3.8 $km^2$ en 2007 [Staudacher *et al.* 2009]. Les caractéristiques éruptives de l'événement d'avril 2007 sont par ailleurs toutes hors normes par rapport à celles des autres éruptions historiques. Le Tableau 21 résume les principaux paramètres qui la caractérisent comme inhabituelle sur le plan phénoménologique. Lorsqu'il était quantifiable nous avons renseigné une colonne indiquant un facteur multiplicateur moyen pour chaque paramètre afin de marquer le caractère hors norme de l'éruption de 2007.

*Tableau 21 - Phénoménologie éruptive dans les parties basses : comparaison entre la moyenne des éruptions récentes de la Fournaise et l'éruption d'avril 2007*

*Références citées : Staudacher et al. (2009) [(a)] ; Peltier et al. (2009) [(b)] ; Bhugwant et al. (2009) [(c)] ; Bhugwant et al. (2002) [(d)] ; Aubaud & Besson (2007) [(e)] ; Viane et al. (2009) [(f)] ; Copolla et al. (2009) [(g)] ; les indicateurs [(h)] ont été calculés à partir des données brutes sur les éruptions de 1998 à 2007 in Peltier (2007) ; Guezello (2008) [(i)] ; Bachèlery et al. (2010) [(j)]*

| Phénomènes observés | Moyenne pour les éruptions de 1998 à avril 2007 | Eruption du 2 avril 2007 | Facteur |
|---|---|---|---|
| **Durée de l'éruption** | 25 jours [(h)] | 29 jours | 1.2 |
| **Altitude de l'évent** | 2145 m d'altitude [(h)] | 590 m d'altitude | / |
| **Hauteur fontaines de lave** | entre 50 et 100 mètres de haut [(a)] | Entre 100 et 150 mètres de haut, avec un maximum à 200 mètres le 06/04/07, le jour du 1er effondrement sommital [(a)] | 2 |
| **Epaisseur moyenne des coulées** | 3,7m [(h)] | Superposition de plusieurs dizaines de coulées : 10-20 m sur les 50% N, 30-60 m au S près du Rempart Tremblet [(a)] ; 34 m en moyenne | 9 |
| **Volume de lave émis** | $10x10^6 m^3$ [(b)] | Environ $230x10^6$ $m^3$ [(j)] | 23 |
| **Débit moyen de lave et vitesse d'écoulement** | 1 et 15 $m^3/s$ au Piton de la Fournaise [(a)] ; $6.3 m^3/s$ [(h)] | $92 m^3/s$ [(j)] ; augmentations périodiques du débit dépassant 200 à 300 $m^3/s$ le 06/04/07 [(g)] ; coulées dépassant les 60 km/h en chenal | 14 |
| **Surfaces recouvertes par la lave** | 1.9 km² [(h)] | 3.8 $km^2$ à terre + plate-forme littorale de 0.45 $km^2$ [(a)] | 2 |
| **Morphologie du cône formé** | Diamètre de base du cône : 384 m ; diamètre du cratère : 70 m ; égueulé vers la mer | Diamètre moyen de la base du cône : 311 m ; diamètre moyen du cratère : 63 m (pour 82 cônes non datés recensés sur le Massif de la Fournaise) [(i)] | 1.2 |
| **Projections de cheveux de Pele** | Occasionnelle dans les plaines | Dispersion de cheveux de Pele en abondance au SE de l'île de Saint Joseph à Bras Panon et dans une moindre mesure jusque sur Saint Denis [(a)] | / |
| **Cendres/lapilli** | Pas d'événement recensé | Plus d'1cm de dépôts infra à pluri millimétriques au Tremblet [(e)] ; cendres éparses jusque sur Saint Denis | / |
| **Caractéristiques pétrologiques** | Pas d'événement recensé | Emission, jusqu'alors jamais observée, de ponces trachytiques et enclaves de roches hydrothermalisées au point de sortie principal ; incrustation de cristaux d'olivine dans les arbres près du Piton Tremblet | / |
| **Epanchement de gaz** | Augmentation de la concentration en $SO_2$ corrélée avec l'intensité du trémor, taux de $SO_2$ facteur 5-20 sur différentes régions de l'île en conditions anticycloniques [(d)] ; occasionnellement vog [(f)] | Dégazage inhabituellement fort : augmentation $SO_2$ (facteur 10-30 dans les localités côtières), seuils d'alerte dépassés à plusieurs reprises & vog important [(a ; c)] ; très mauvaise qualité de l'air dans une large aire située au NW et SW de l'évent éruptif, concernant environ 10 % de la population insulaire, concentrations moyennes sur 7 à 10 j entre 38 et 379 $mg/m^3$ [(c)] ; pluies acides sur le sud atteignant des Ph < 2 [(c)] | / |

Pour être plus significatifs, les chiffres bruts concernant le volume émis doivent être resitués dans une

dimension temporelle. En 2007, 230 x $10^6$ $m^3$ ont été émis en 30 jours. En comparaison, l'éruption du 30 août 2006 au 1er janvier 2007, n'a délivré que 19 x $10^6$ $m^3$ en 124 jours. Les précédentes éruptions, au cours desquelles de forts volumes ont été éjectés, ont duré 216 jours en 1931 (130 x $10^6$ $m^3$), 196 jours en 1998 (60 x $10^6$ $m^3$) [Staudacher *et al.* 2009], et 11 jours en 1977 au cours desquels le village de Piton-Sainte-Rose a été détruit (100 x $10^6$ $m^3$). Ce rapport volume/temps s'explique par des débits en moyenne plus de dix fois supérieurs à la normale au cours de l'éruption d'avril 2007. Aucun des habitants vivant à proximité du Grand-Brûlé n'a souvenir d'une éruption aussi intense.

Les coulées se sont accumulées sur plus de 4 km de longueur et près de 1,7 km de largeur au niveau de la côte, où trois nouvelles plages d'une longueur cumulée de 350 mètres se sont mises en place à côté de la nouvelle plateforme de 0,45 $km^2$ [Staudacher *et al.* 2009]. Elles atteignent l'épaisseur exceptionnelle de 60 m contre le rempart du Tremblet, avec une épaisseur moyenne de 34 m contre 3,7 m pour les éruptions de 1998 à 2007 (calculé d'après [Peltier 2007]). Leur progression en mer a pu être reconnue jusqu'à plus de 700 m de profondeur [Bachèlery *et al.* 2010] détruisant des habitats de poissons des grandes profondeurs, parmi lesquels plusieurs espèces totalement inconnues [Durville *et al.* 2009].

### ❖ *Un dégazage et des retombées inédites*

L'éruption d'avril 2007 a été accompagnée d'un dégazage inhabituellement fort[90] [Bhugwant *et al.* 2009 ; Staudacher *et al.* 2009 ; Gouhier et Coppola 2011 ; Tulet et Villeneuve 2011], avec une quadruple provenance. Les trois principales sources étaient l'évent éruptif situé dans le Grand-Brûlé et le cratère Dolomieu après son effondrement, qui émettaient un panache essentiellement constitué de gaz volcaniques (en particulier du $SO_2$), et le point d'entrée des coulées en mer à l'origine d'un panache acide chargé en particules solides générées lors de l'interaction eau-magma. La quatrième source provenait ponctuellement d'un contact entre l'eau de la ravine Criais et les coulées sur lesquelles elle tentait de reprendre son cours initial dans le Grand-Brûlé le long du rempart, provoquant des panaches denses et un brouillard épais dans toute la zone du Tremblet (obs. pers. du 6 au 8 avril).

*Figure 43 - Panaches éruptif et littoral atteignant environ 5000 m d'altitude le 04/04/07 vus depuis Sainte-Rose (J. Morin) et détail sur le panache littoral à proximité des habitations de la Pointe du Tremblet le 06/04/07 (F. Caillé)*

Les gaz émis lors de l'éruption ont parcouru de grandes distances à travers l'océan indien occidental, notamment du 7 au 9 avril, atteignant le Nord de Madagascar, puis Maurice et la côte occidentale de l'Australie, à plus de 6000 kilomètres du lieu de l'éruption [OMI 2007 ; Bhugwant *et al.* 2009]. Les directions opposées de dispersion du panache sont liées au phénomène de cisaillement des masses d'air, qui se déplacent vers l'ouest dans la partie basse de la troposphère, et vers l'est au-dessus de 6000 mètres [Tulet

[90] A noter qu'au cours de manipulations géophysiques au sommet fin mars, soupçon d'un fort taux de $CO_2$ en limite de Dolomieu.

et Villeneuve 2011]. Sur l'île, les concentrations en $SO_2$ ont été très supérieures à la normale dès les premiers jours de l'éruption, particulièrement dans le Sud, le Sud-Ouest et le Nord-Ouest [Viane *et al.* 2009]. Hors période volcanique, la valeur moyenne de $SO_2$ dans les villes côtières proches du volcan est comprise entre 1 et 20 µg/m$^3$ sur 10 jours. Durant l'éruption du 02 avril 2007, ce taux a été multiplié par 10-30, avec des concentrations de 38 à 379 µg/m$^3$ sur 7 à 10 jours et un maximum horaire atteignant 2486 µg/m$^3$ au Tremblet [Bhugwant *et al.* 2009]. Ces concentrations exceptionnelles s'expliquent, au Tremblet, par la proximité de l'évent éruptif, et plus généralement pour les régions Sud et Ouest de l'île par les conditions météorologiques combinant des systèmes de brise et d'alizés préservant les régions est à nord-est de l'île des masses d'air polluées [Bhugwant *et al.* 2002]. Toutes nos observations de terrain ont corroboré cette assertion, avec un panache systématiquement orienté WSW, couvrant la Pointe du Tremblet la majeure partie du temps (Figure 43B).

Engendrées par le panache littoral, des particules solides sous forme de cendre et de lapilli (ainsi que des cristaux de sel marin) ont également été déposées à plus d'un km ([Staudacher *et al.* 2009] ; obs. pers.). Aubaud et Besson [2007] (in [Staudacher *et al.* 2009]) ont relevé, au Tremblet, jusqu'à 1 cm de dépôts, principalement de verre basaltique, cristaux d'olivine et cheveux de Pele. La dispersion de cheveux de Pele a été inhabituellement importante, avec des retombées sur l'ensemble de l'île, en abondance au Sud-Est entre Saint-Joseph et Bras-Panon, et dans des quantités moindres jusqu'à Saint-Denis. La combinaison des différents composants des panaches (principalement $SO_2$, HCl, HF, $CO_2$, $H_2SO_4$) a par ailleurs engendré des pluies acides sur tout le sud de l'île [Bhugwant *et al.* 2009].

Une cartographie des aléas et impacts perçus permet de visualiser la répartition de ces phénomènes (Figure 44). Sans surprise, on y découvre que la moitié Est de l'île a beaucoup plus subi les retombées de l'éruption (en particulier le Tremblet) et que les cirques apparaissent protégés. En plus d'être localisés, les aléas ont été quantifiés à l'aide de scores présentés dans la première colonne d'encarts (cendre / cheveux de Pele / lapilli). Un score de 2,5 à 3 signifie que tous les répondants ont mentionné que l'aléa les a touchés « partout en quantité importante » sur leur lieu de vie. La méthodologie d'élaboration de la carte est décrite en Annexe 13. Cette cartographie est à prendre avec précaution (reconstruction possible du discours a posteriori sous l'influence des médias, difficultés à quantifier les phénomènes, erreurs dans les réponses données, répartition inégale du nombre de répondants par commune, etc.). Il est par exemple avéré que des lapillis ne sont pas retombés en dehors des communes de Saint-Philippe et Sainte-Rose contrairement à ce qui est exprimé par les répondants. Ces cartes restent toutefois intéressantes et indiquent des tendances qui correspondent globalement bien aux données scientifiques et médiatiques produites lors de l'événement.

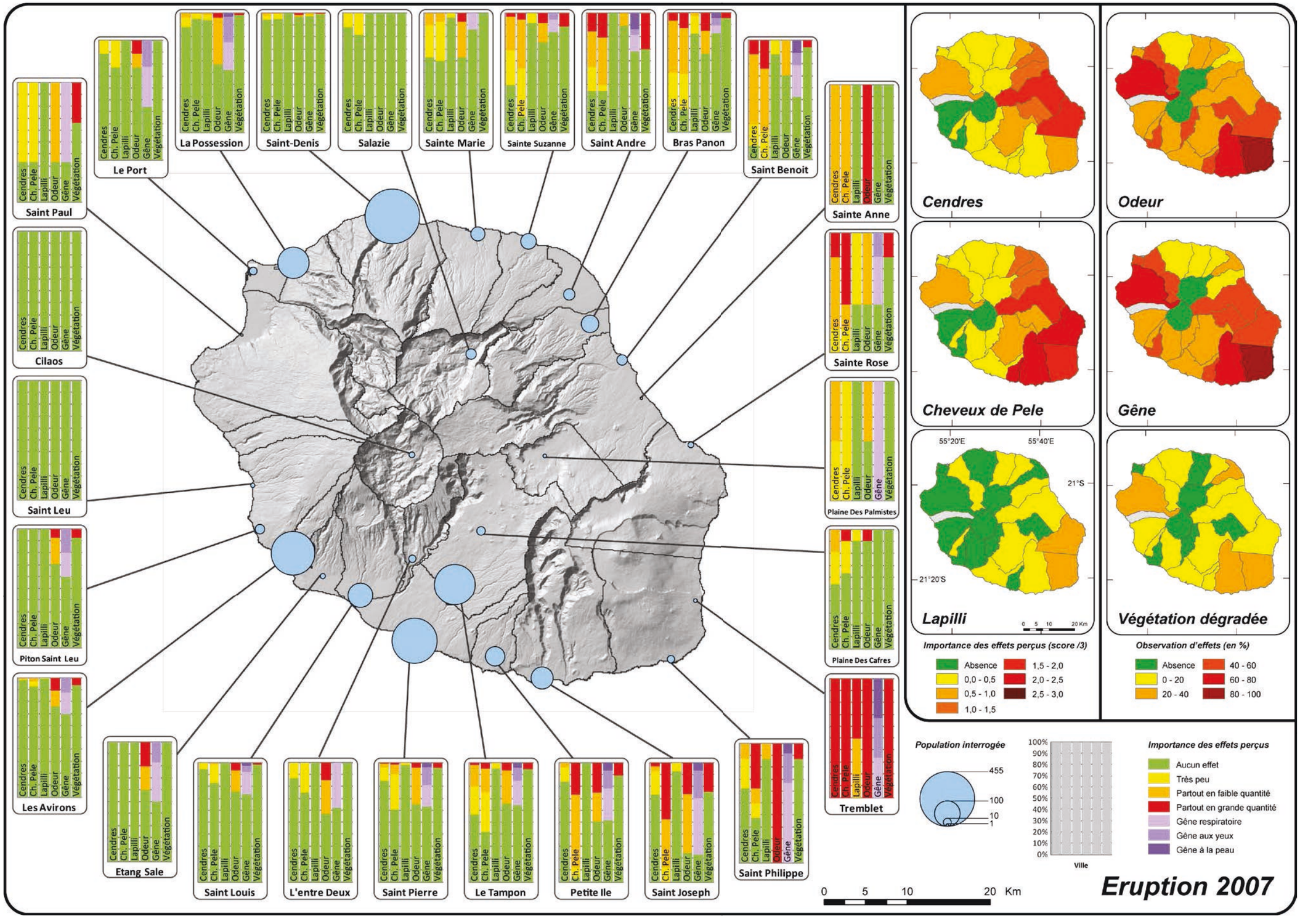



*Figure 44 - Intensité des aléas et de leurs effets perçus par les collégiens et lycéens de l'île lors de l'éruption d'avril 2007*

### ❖ *La formation d'une caldeira sommitale, première historique à la Fournaise*

L'éruption a également pris une tournure exceptionnelle en zone sommitale avec la survenue d'un effondrement polyphasé du Dolomieu d'une ampleur sans précédent pour la période historique[91]. Sa taille (1100 x 800 m pour une surface de 82 x $10^4$ $m^2$) et sa profondeur (340 m) ont permis à Michon *et al.* [2007] d'évaluer son volume à 100-120 x $10^6$ $m^3$, soit des proportions suffisantes pour qualifier le « nouveau » Dolomieu de caldeira[92]. Le Dolomieu avait connu plusieurs épisodes d'effondrements historiques comme en 1986 (0.0014 $km^3$ [Delorme *et al.* 1989]) et 2002 (0.0003 $km^3$ [Longpré *et al.* 2006]), formant *seulement* des pit-craters.

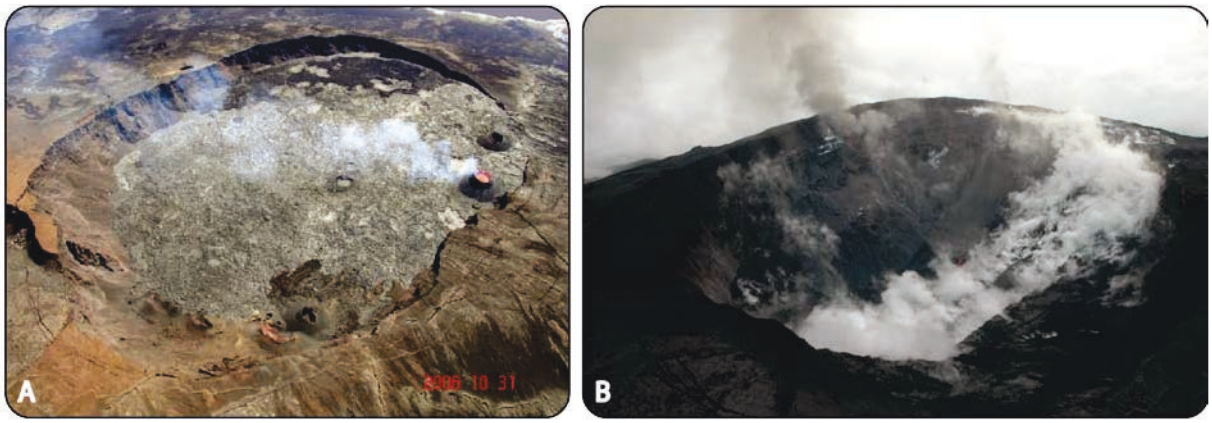



*Figure 45 - Cratère Dolomieu rempli le 31/10/2006 et immédiatement après le premier effondrement le 06/04/07 (OVPF ; J. Morin, vues d'hélicoptère orientées vers le Nord-Est et l'Est)*

L'effondrement caldeirique de 2007 est attribué à la disparition de la pression hydrostatique dans la colonne située entre le Dolomieu et la chambre magmatique, fragilisée par l'activité intense depuis 1998, à un moment où l'accumulation de coulées depuis 2003 avait entièrement comblé le Dolomieu. La disparition de pression en elle-même est corrélée à la vidange latérale de la chambre depuis le point d'émission distal du Tremblet [Michon *et al.* 2007]. Il a été accompagné d'une sismicité localisée à l'aplomb du sommet, exceptionnelle tant en quantité (plus de 1000 séismes en 24 heures du 4 au 5 avril) qu'en magnitude (avec des événements jusqu'à une magnitude 5 ressentis au Pas de Bellecombe). Dans la zone sommitale du volcan, de nombreux panaches de cendre d'origine phréatique ont été observés lors des effondrements successifs. Jusqu'à 15 mm d'épaisseur de retombées de cendres ont été mesurés autour du sommet, 4 mm dans l'Enclos [Staudacher *et al.* 2009].

- **Conséquences physiques de l'effondrement**

Une forte instabilité des pourtours du Dolomieu s'est installée, matérialisée par l'intensification des systèmes de fractures péri-cratériques et concentriques préexistants. Des campagnes de mesures DGPS montrent des réajustements majeurs sur l'ensemble de la partie sommitale durant plusieurs mois [Michon *et al.* 2007 ; Michon *et al.* 2009]. Jacquard [2008] a dressé une synthèse cartographique des déplacements horizontaux et verticaux[93] combinés pour la période novembre 2007 - mai 2008 (Figure 46). On notera que ces déplacements ont été encore plus significatifs de mars à novembre 2007, avec des déplacements supérieurs à deux mètres sur les deux axes.

[91] Voir la description de l'activité en Chapitre II, 2.1, p.58.

[92] 96x$10^6$$m^3$ pour Urai *et al.* [2007] ; 90x$10^6$$m^3$ pour Staudacher *et al.* [2009]. Notons que la qualification « caldeira » implique, selon la définition de l'IAVCEI, qu'il y ait un lien direct établi entre l'effondrement et le réservoir magmatique superficiel du volcan.

[93] Qui témoignent respectivement de mouvements d'inflation/déflation du sommet, et des réajustements liés à l'effondrement du cratère avec un appel au vide des parois internes du Dolomieu.

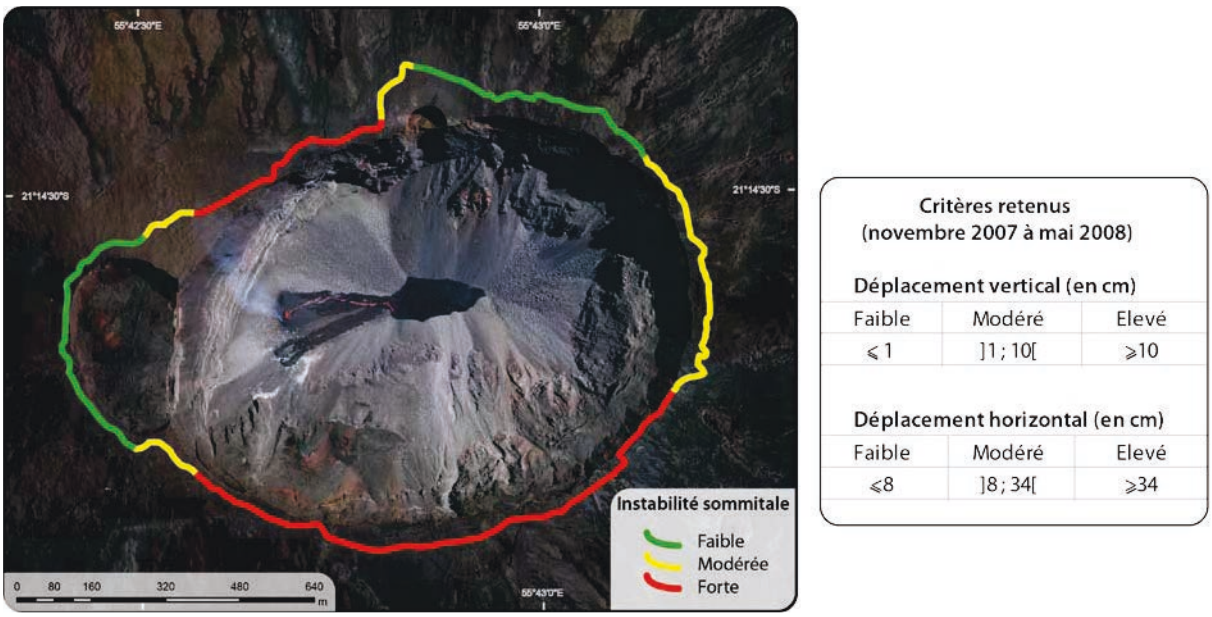



*Figure 46 - Cartographie synthétique de l'instabilité sommitale de novembre 2007 à mai 2008 (modifié d'après Jacquard [2008] ; fonds Google Earth)*

L'éruption d'avril 2007 a à tous points de vue été une éruption de très forte intensité, probablement la plus importante depuis le début des observations historiques menées sur la Fournaise, il y a environ 350 ans. On peut, à ce titre, la classer dans la catégorie des éruptions centennales à pluri centennales de la Fournaise. Cette caractérisation de l'aléa est importante car elle ouvre la possibilité d'un classement en événement CATNAT. Or, l'éruption a affecté une large zone Sud du Grand Brûlé, le village du Tremblet, la partie sommitale du volcan, et dans une moindre mesure l'île dans son ensemble et le bassin indien occidental.

### 2.1.3. Bilan des impacts observés pendant l'éruption

Du fait de son intensité, de sa durée, et de sa proximité à certains enjeux, l'éruption d'avril 2007 a engendré des impacts importants. Les principaux ont été recensés au Tremblet, hameau d'environ 400 habitants, le plus proche du site éruptif. La cartographie présentée en Figure 47 ne recense que les dégâts aux habitations et à la végétation directement visibles depuis la route ou sur les photographies aériennes de la zone. Elle n'est donc pas exhaustive et exclut les dégâts plus minimes, tels que la dégradation ponctuelle de plantes dans les jardins, dont ont témoigné les Réunionnais bien au-delà du Tremblet. Dans l'encart portant sur la végétation de la Figure 44, plus de 20% des enquêtés ont en effet constaté une dégradation de la végétation dans les communes de Saint-Philippe, St-Joseph, Saint-André et Saint-Paul. Des gênes - essentiellement respiratoires - sont également décrites par plus de 40% des répondants des communes de l'Est (Petite-Ile, Saint-Joseph, Saint-Philippe, Sainte-Rose, Plaine des Cafres et Plaine des Palmistes), mais également dans l'Ouest, qui a été touché par les phénomènes de vog (Etang-Salé, Saint-Paul, Le Port et La Possession).

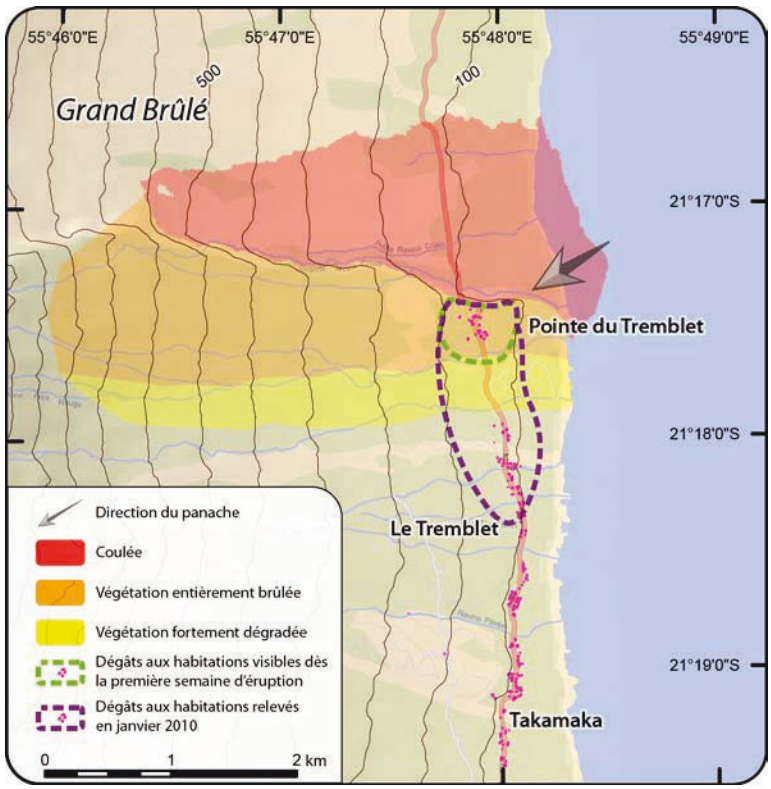



*Figure 47 - Synthèse des impacts attribuables à la coulée, aux gaz et aux retombées d'avril 2007 au Tremblet*

L'endommagement reste toutefois modéré en l'absence de pertes humaines. Nous dressons en Tableau 22 une synthèse des différents types d'impacts. Il est nécessaire d'appréhender leur diversité et leur étendue pour être à même de comprendre les impératifs et difficultés de gestion qui peuvent leur être associés.

*Tableau 22 - Impacts liés à l'éruption d'avril 2007 au Piton de la Fournaise (Sources des impacts : C (coulées) / G (gaz et retombées) / E (effondrement) / T (tous : C + G + E) / I (Indirect, lié aux autres impacts)*

- Court terme, pendant l'éruption ou une partie de l'éruption
- Moyen terme, quelques semaines à mois après la fin de l'éruption
- Long terme, plusieurs années après la fin de l'éruption
- Long terme, effet définitif (à échelle humaine)

▲ Impacts positifs

▼ Impacts négatifs

| Impacts | | Source | Description, coût, et qualité des impacts |
|---|---|---|---|
| DIRECTS | Sur milieu naturel | C | ▼ 264 ha de terrains domaniaux et départementaux-domaniaux recouverts par la coulée, dont 91 ha de forêt primaire en réserve biologique intégrale ■<br><br>▼ Incendies des remparts (25 ha brûlés)<br>⇨ disparition des niches écologiques d'oiseaux endémiques et de ruchers ■<br>⇨ éboulement des parois devenues instables■<br>Valeur patrimoniale et écologique inestimable,<br>Pestes végétales prenant le dessus sur la végétation endémique<br><br> <br>*La coulée engloutit la forêt du Grand Brûlé* |
| | | C | ▲Endommagement « positif » de l'écosystème marin. Augmentation importante de la température de l'eau avec un déversement de lave en mer > 100 x $10^6$ $m^3$. Poissons repêchés flottant à la surface : 47 espèces encore inconnues à La Réunion, 12 à l'échelle mondiale[94] ■<br><br>Deux plages principales apparues au nord de la coulée (60 m de long) et à la pointe du Tremblet (280 m) ■ |
| | Agriculture | C + G | ▼ Dommages à la végétation de Saint-Philippe à Bois Blanc dès les premiers jours de l'éruption (feuilles piquées et roussies) jusqu'à destruction totale sur une large aire autour de la pointe du Tremblet (Figure 47). ■ / ■ / ■ selon les espèces<br><br>Dégâts à l'agriculture : 1,16 million €, dont 210 000€ pour les 16 ha de vanille brûlés par la coulée et 58 ha brûlés par les gaz et pluies acides, 51 000€ pour 18 ha de palmistes, 100 800€ pour les agrumes au Tremblet et à Bois Blanc, perte de 50% de la récolte sur 458 hectares de canne, soit 801 500€ (d'après la Chambre d'Agriculture) Entre un et six ans nécessaires pour un retour à la normale selon les plantes ■<br><br>Cheveux de Pele perturbant l'activité des éleveurs ■<br><br> <br>*Cultures détruites par les pluies acides au Tremblet et retombées pyroclastiques (papayer piqué le 08/04/07 (J.M.) ; 7 mois plus tard la végétation est toujours brûlée (I.P.R., 07/11/07))* |

[94] Le nom de "Symphysanodonpitondelafounaisei" a été attribué au "plus beau" des poissons en hommage au volcan. Les découvertes ichtyologiques attribuables à des éruptions n'avaient jusque-là été décrites qu'à Hawaii en 1919 et 1950 [Gosline *et al.* 1954] et aux Galápagos en 1995 [McCosker et Smith 1997].

<table>
<tr><td rowspan="4">DIRECTS</td><td>Bâti et biens</td><td>G</td><td>▼ En quelques jours, structures métalliques des maisons et des biens (tôle des toitures, robinetteries, voitures, etc.) corrodés par les cendres et pluies acides. Rupture des gouttières sous le poids du sable. Vitres rayées par les retombées. Fuites dans les maisons aux toits les plus endommagés.<br>Plusieurs centaines de voitures endommagées par les retombées à Sainte-Rose et Bois-Blanc (pas d'évaluation précise du coût, quelques dizaines de parebrises changés dans les garages de l'Est réunionnais (Le Quotidien, 12/04/2007)<br>■ / ■ / ■ / ■ selon les réparations envisagées<br> <br>Infrastructures endommagées par les pluies acides au Tremblet (J.M. 12/2010)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Aménagements touristiques et patrimoine</td><td>C</td><td>▼ Statues de Symbiose pour oiseaux et volcan, vieux port du Tremblet, sentiers botanique et pédagogique (3000 m), pistes forestières (2400 m) et belvédère de la coulée de 1976 détruits engloutis par la lave. Perte patrimoniale ■</td></tr>
<tr><td>E</td><td>▼ Sentier autour du cratère Dolomieu partiellement emporté : perte de matériel de surveillance volcanologique (station sismique + caméra), coût de remplacement ■ Fissures centimétriques à métriques, risques d'effondrement : problèmes de sécurité, accès désormais problématique au sommet, coût politique : mauvaise image des interdictions ■</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Réseaux</td><td>C</td><td>▼ RN2 coupée sur 1,5 km.<br>Isolement total du Tremblet pendant l'éruption (barrages de gendarmes interdisant l'accès). Temps de trajet rallongé de 2h pour les habitants souhaitant se rendre de l'autre côté de l'Enclos ■<br>Nombreux tunnels de lave jusqu'à 10 m de diamètre [Deroussi et al. 2009] : réfection de la route périlleuse et complexe au plan géotechnique. Réouverture seulement le 07/11/2007 (visible sur photo B impacts à l'agriculture): 1,25 million € sans compter les remises en état ultérieures liées aux déformations de la chaussée (com. pers. DDE) ■<br> <br>Janvier 2010, une crue de la ravine Criais a emporté une portion de RN2<br>Puis en cas de pluie, brouillards sur les coulées empêchant (visibilité <1m pendant trois ans) ou gênant la circulation et route submergée par les crues de la ravine Criais reprenant son cours sur les coulées ■<br>▼ Saturation des réseaux en lien avec l'affluence de public ; accès des secours bloqué ■</td></tr>
<tr><td>INDIRECTS</td><td>I</td><td>▼ Difficultés d'accès à l'eau potable (déjà très problématique auparavant) avec coupures d'eau et pollution du réseau, purgé pendant l'éruption ; ravitaillements des populations via des citernes et la distribution de bouteilles d'eau minérale (distribution solidaire par des institutions, entrepreneurs, groupes religieux) ■<br>▲ En réponse, Région, Etat et commune s'engagent sur la réfection du réseau d'adduction d'eau (travaux en cours en 2012) ■<br>▼ Difficultés d'accès à l'électricité (manque de tension) ■ (retour à la normale début 2012)</td></tr>
<tr><td>DIRECTS</td><td>Sanitaires</td><td>G</td><td>▼ Régulièrement très mauvaise qualité de l'air pour 10 % de la population insulaire, au NW et au SW de l'évent éruptif [Bhugwant et al. 2009]. Dépassements des seuils d'information et d'alerte au $SO_2$. Record au Tremblet avec 2486 µg/m$^3$ d'air le 28 avril. Episodes ponctuels de concentrations élevées en PM10 suite aux effondrements du cratère Dolomieu ■<br>Asthme = problème majeur de santé publique à La Réunion avec forte prévalence [Viane et al. 2009]. Réseau de veille sanitaire mis en place (centres hospitaliers + médecins libéraux). Augmentation des allergies et syndromes respiratoires, en particulier dans l'Ouest, sans qu'aucun lien de cause à effet puisse être établi par les médecins. Gênes respiratoire, cutanée et oculaire ressenties par la population de l'île (cf. Figure 44). Vingt personnes ont présenté des symptômes irritatifs ou respiratoires au Tremblet ■<br>52 élèves incommodés placés sous assistance respiratoire dans trois collèges de St-Joseph. Enseignants et soignants pensent à un phénomène d'amplification. Aucun problème de santé grave signalé en lien avec l'éruption ■</td></tr>
</table>

| | | | |
|---|---|---|---|
| **INDIRECTS** | | | ▼ Pollution du réseau d'eau au Tremblet lié aux pluies acides et retombées pyroclastiques. Purge totale du réseau nécessaire en cours d'éruption. Population alimentée en eau par citernes et distribution de bouteilles 🟨<br>▼ Mesures de confinement dans les habitations au Tremblet 🟨 |
| | **Sociaux** | C | ▼ Vie quotidienne bouleversée par la foule des deux premiers jours, puis l'isolement total pendant un mois. Gêne et dégradations liées à la forte affluence de visiteurs 🟨<br>▼ Troubles psychologiques (insomnie, anxiété) 🟧 (🟥 chez une minorité) liés en particulier à l'évacuation brutale du 06 avril 2007 [Payet *et al.* 2007] |
| | | E | ▼ Interdiction d'accès au sommet jusqu'au 24 décembre 2009 🟥 |
| | | I | ▼ Arrêté CATNAT (le 05/11/2008) - 3 familles assurées ont pu bénéficier de l'arrêté CATNAT + aide financière de la mairie 🟧<br>Collectif créé pour obtenir des indemnisations 🟧<br>Opportunisme des sinistrés pour avoir le maximum d'aides 🟨<br>Tensions entre villageois du Tremblet liées à la distribution des aides (rivalités individuelles + village coupé en deux de part et d'autre de Citrons-Galets) 🟥<br>Liens sociaux renforcés pendant l'éruption puis rapidement distendus<br>▼ Déménagements temporaires de quelques heures (lors de l'évacuation) à 5 jours 🟨<br>Déménagement définitif d'une famille du Tremblet 🟥 |
| | **Economiques** | I | ▲ Pendant l'éruption, regain d'activité pour les sociétés de tourisme héliporté (quatre fois plus de travail que d'habitude) et hôtels-restaurants proches de l'Enclos à Sainte-Rose 🟨<br>▼ <u>Difficultés d'accès aux ressources :</u><br>- destruction des cultures = perte des revenus agricoles 🟧 / 🟥<br>- concessions de vanille non renouvelées par l'ONF dans l'Enclos 🟥 ( ⬛ ?)<br>- diminution de la ressource en mer = pêcheurs en difficulté 🟧<br>- interdiction d'accès au Tremblet = perte d'exploitation pour le restaurant du village 🟨<br>- après la fin de l'éruption et jusqu'à la réouverture de la route, perte de clientèle pour les hôtels-restaurants proches de l'Enclos (chômage technique dans certains établissements) 🟧<br>▲ <u>Recherche de ressources alternatives et *opportunisme* : diversification des activités</u><br>- « Guides pays » pour aider les touristes à passer les barrages de gendarmerie et les amener à la coulée moyennant rémunération 🟨<br>- « Guides pays » sur la coulée et jusqu'au piton Tremblet après la fin de l'éruption 🟥<br>- Bateaux-guides improvisés pour l'observation des coulées en mer 🟨<br>Après la fin de l'éruption côté Tremblet, attractivité de la coulée : développement touristique (3500 personnes jour environ sur la plateforme d'observation sur la coulée [Jacquard 2008]), ouverture d'une boutique, bon taux de remplissage dans les lieux de restauration du Tremblet (création d'un second lieu de restauration durant quelques mois) 🟥 |
| | **Institutionnels** | C<br>T<br>E<br>E | ▼ Mobilisation d'environ 30 scientifiques et 80 personnels de l'Etat pendant la crise dont 60 gendarmes, des pompiers et personnels de l'ONF. Coût important 🟨<br>▲ Promulgation du premier arrêté CATNAT lié à une éruption volcanique depuis l'existence du dispositif ⬛<br>▲ Modification du PSS Volcan ⬛<br>▲ Réflexion engagée sur la problématique de la qualité de l'air. Promulgation d'arrêtés ⬛ |

## 2.2. DES DIFFICULTES DE GESTION LIEES AU CARACTERE EXCEPTIONNEL DE L'ERUPTION ?

Le caractère « exceptionnel » de l'éruption d'avril 2007 et l'étendue inhabituelle de ses impacts ont été démontrés. Quelle a été l'efficacité des réponses apportées par les institutions et les populations face à un tel événement ? Ont-elles été adaptées efficacement ou limitées du fait d'un manque de préparation ?

### 2.2.1. Une éruption à rebondissements impliquant une adaptation constante des réponses

Le dispositif opérationnel mis en place pour faire face à l'éruption a été adapté aux circonstances, au besoin plusieurs fois par jour, en fonction de la fréquentation des sites et de la phénoménologie éruptive observées (progression des coulées vers la route, retombées pyroclastiques ; cf. Tableau 20). Nous proposons une synthèse cartographique (Figure 48 à Figure 57) qui démontre la souplesse du dispositif et la réactivité - plus ou moins grande - des autorités. Le lecteur trouvera une légende, commune à l'ensemble de ces figures en dépliant la page 175. Une synthèse des principales réponses opérationnelles, scientifiques, médiatiques[95] et « populaires » (populations résidentes et touristiques) accompagne chaque carte. Ce travail a été établi à partir des communiqués de la Préfecture, du contenu médiatique, d'observations directes de terrain et d'entretiens.

- **Phase A : 2 avril**

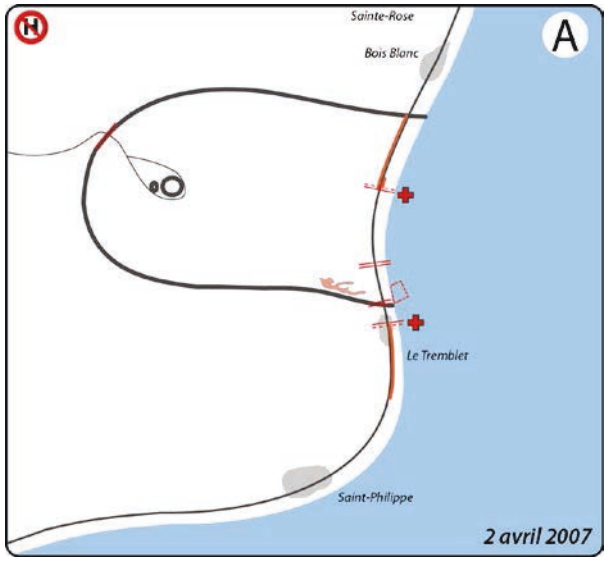



*Figure 48 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise le 2 avril 2007*

- L'OVPF informe les autorités de l'imminence d'une éruption et d'un risque de sortie hors Enclos.
- En vertu des règles édictées dans le PSS, les autorités déclenchent l'alerte 2, et établissent, dès le début de l'éruption, un dispositif opérationnel visant à assurer la sécurité des personnes tout en permettant autant que possible l'accès du site éruptif aux curieux. Des barrages automobiles et piétons, règles de stationnement, et des Postes Médicaux Avancés (PMA) sont donc mis en place sur la RN2, des deux côtés du Grand-Brûlé. L'accès à la partie sommitale de l'Enclos est fermé, et le poser d'hélicoptère interdit sur l'ensemble du massif.
- Les médias invitent le public à se rendre sur site pour profiter du spectacle. La veille certains ont rappelé la forte similitude entre l'éruption en préparation et les éruptions hors-Enclos de 1977 et 1986.

[95] Les titres de la presse écrite concernent les événements survenus la veille.

- Les visiteurs affluent massivement à Sainte-Rose et Saint-Philippe. Environ 200 personnes se massent contre les barrières pour observer l'arrivée de la lave sur la RN2, le soir elles sont 4000 à 5000 de chaque côté de la coulée. Certaines tentent de contourner les barrages pour s'approcher. Le fait que des personnes autorisées puissent les franchir librement agace fortement le public.
- La population du Tremblet fait face à de nombreuses incivilités.

- **Phase B : 3 avril**

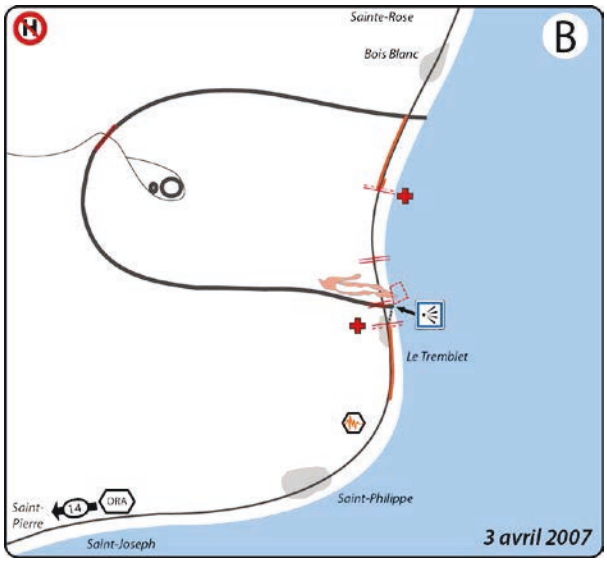



*Figure 49 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise le 3 avril 2007*

- Un point de vue, nécessitant l'intervention de dix ouvriers de l'ONF, est aménagé à la Pointe du Tremblet pour offrir une vue sur l'arrivée des coulées en mer. Une zone d'exclusion maritime est décrétée[96] autour du point d'entrée en mer. A Saint-Joseph, les émanations gazeuses entraînent l'hospitalisation de 14 collégiens, et l'émission de recommandations à la population.
- Le laboratoire mobile de l'Observatoire Réunionnais de l'Air (ORA) est dépêché sur place[97]. Très réactifs, les scientifiques de l'OVPF ont, quant à eux, installé une station sismique au phare de la Pointe de la Table pour mieux surveiller l'évolution de l'activité.
- Les réponses des médias et du public restent identiques à celles de la veille. Les habitants du Tremblet profitent par ailleurs de la fréquentation pour improviser une activité commerciale (vente de vanille et d'eau aux touristes).

[96] On note que les coordonnées de la zone d'exclusion maritime fournies par la préfecture dans ses communiqués ne varient pas du début à la fin de l'éruption. La plateforme de lave édifiée en mer recouvre pourtant largement cette zone d'interdiction dès le 10 avril. Les bateaux peuvent donc approcher les coulées de près sans enfreindre l'interdiction d'approche théorique de 300 mètres énoncée dans le PSS.

[97] Le détail des mesures effectuées fait l'objet d'explications dans la suite de cette partie

- **Phases C et D : 4 avril**

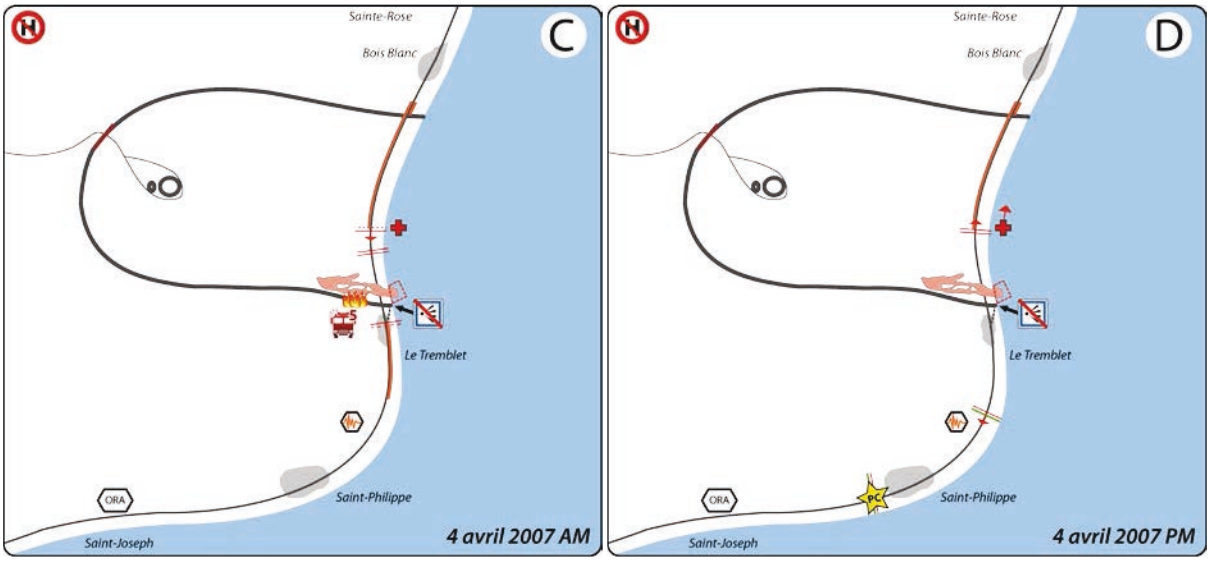



*Figure 50 - Dispositifs opérationnels mis en place au Piton de la Fournaise le 4 avril 2007 au matin et dans l'après-midi*

- Les coulées de lave qui progressent contre le rempart du Tremblet provoquent des incendies. D'importants moyens du SDIS sont déployés pour protéger les habitations proches du rempart de la propagation des flammes. Des recommandations aux populations sont émises suite à la chute de cheveux de Pele. Elles seront étendues à l'ensemble des aléas et à l'ensemble de l'île jusqu'à la fin de l'éruption. En raison du risque de coulée hors Enclos, les touristes n'ont plus accès aux coulées par Saint-Philippe : un barrage filtrant est mis en place à Takamaka pour ne laisser passer que les habitants. Le point de vue de la Pointe du Tremblet aménagé dès le 3 avril pour permettre un accès sécurisé au spectacle est donc condamné. Côté Sainte-Rose, en revanche, les barrages sont avancés pour permettre au public de profiter du spectacle, avant d'être finalement reculés face à la progression des coulées. Le PMA est par conséquent repositionné provisoirement au centre de secours de Sainte-Rose, plusieurs km en retrait. Dans la soirée, un Poste de Commandement Communal (PCC) est mis en place à Mare Longue (commune de Saint-Philippe).
- La presse titre « *Le volcan devient fou* » et souligne la « *nocivité négligée* » des gaz et retombées liés à l'éruption, en référence aux événements de la veille. Aucune étude préliminaire n'a en effet été entreprise jusque-là pour déterminer les impacts sanitaires potentiels des émanations volcaniques.
- La fréquentation dans l'Enclos côté Sainte-Rose est faible en raison du mauvais temps. Les personnes présentes au Tremblet constatent des brûlures cutanées superficielles liées aux retombées. Vu l'absence de fréquentation, les commerces du Tremblet ferment. Des habitants inquiets (essentiellement les mères avec leurs enfants) évacuent spontanément. Ceux qui restent souffrent d'insomnie et se lèvent régulièrement pour aller observer la progression de la lave.

- **Phases E et F : 5 avril**

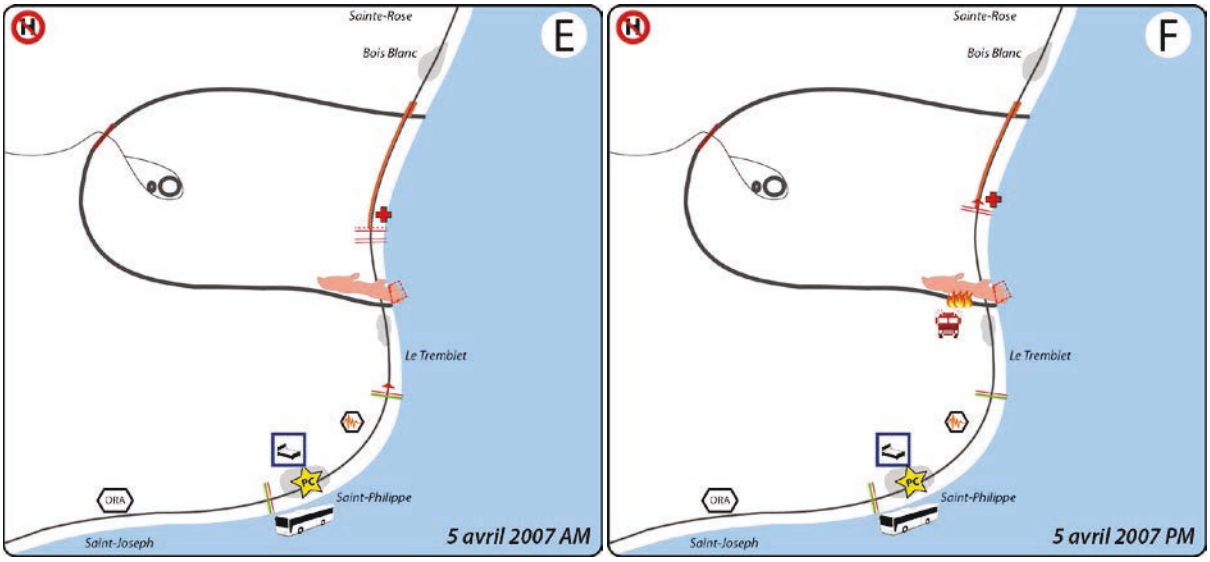



*Figure 51 - Dispositifs opérationnels mis en place au Piton de la Fournaise le 5 avril 2007 au matin et dans l'après-midi*

- Le PCC est déplacé en mairie de Saint-Philippe (la salle choisie initialement étant dépourvue de fax, indispensable à la gestion de crise). La mairie met en place trois centres d'hébergement. Des véhicules sont par ailleurs stationnés à Saint-Philippe dans l'éventualité d'une évacuation. Dans l'après-midi du 5 avril, les pompiers sont à nouveau à pied d'œuvre dans les rampes du Tremblet, tandis qu'à Sainte-Rose l'avancée des coulées impose au public de reculer.
- Les réponses des autres acteurs ne varient pas. La presse titre « *Alerte aux gaz* » en référence à la forte pollution suspectée à Saint-Joseph la veille.

- **Phase G : 6 avril**

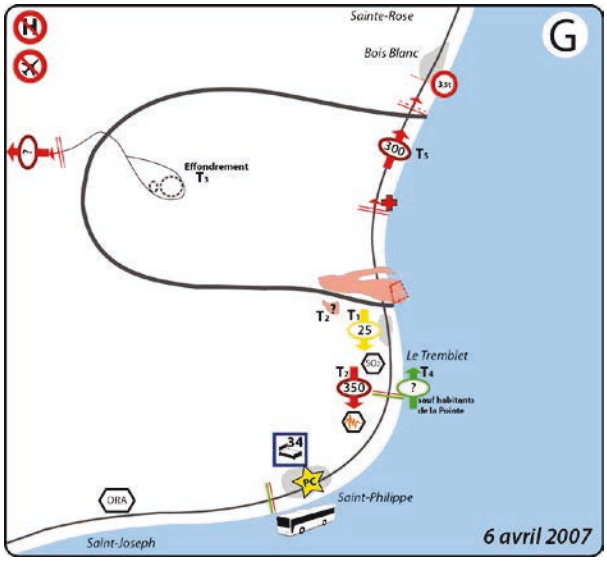



*Figure 52 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise le 6 avril 2007*

- Le 6 avril est assurément la journée la plus chargée aux plans scientifique et opérationnel. A la demande de la préfecture, l'ORA renforce son dispositif de surveillance en implantant une station de mesure du $SO_2$ et des PM10 au Tremblet. En raison du risque de coulée hors Enclos, l'accès reste autorisé uniquement aux habitants du Tremblet. Une évacuation préventive est d'ailleurs conseillée aux habitants de la Pointe du Tremblet, pris en étau entre les coulées de lave dans le Grand Brûlé et les ravines en crue dans le village (évacuation T1). Vers 15h, certaines personnes présentes au Tremblet pensent observer une fissure hors-Enclos au-dessus du village (localisation T2). Cela provoque un ordre d'évacuation de l'intégralité du village (T3). Les moyens d'évacuation prévus ne parviennent au Tremblet qu'après la fin de l'évacuation. Après une reconnaissance aérienne permettant d'infirmer les craintes, les habitants peuvent rentrer à leur domicile (T4), à l'exception de ceux de la Pointe du Tremblet, zone jugée trop exposée. Parallèlement, le sommet du volcan s'effondre. Le gîte du volcan est évacué et la route forestière fermée : toute approche des bordures de l'Enclos est interdite en raison des risques présumés de projection de blocs depuis le sommet. Des SIGMET[98] sont envoyés aux appareils survolant le massif. Côté Sainte-Rose, l'accès aux véhicules de plus de 3,5 tonnes est interdit près de Bois Blanc pour éviter un afflux de bus touristiques pendant le week-end pascal[99]. En fin d'après-midi, 300 personnes sont évacuées de l'Enclos en raison de la progression inquiétante des coulées.
- Sept familles sur les treize habitant la Pointe du Tremblet suivent la recommandation d'évacuation préventive. Lorsque l'ordre d'évacuation est donné, la majorité des habitants obéit. Seuls quelques réfractaires refusent d'évacuer, invoquant la peur des cambriolages, vécus pendant l'évacuation de 1986. La plupart des habitants sont hébergés chez des amis ou de la famille : le centre d'hébergement

[98] SIGnificant METeorological Information, permettant d'avertir les appareils en vol de dangers liés à la météorologie ; des zones d'exclusion aérienne ne sont mises officiellement que le lendemain.

[99] Nous avons eu accès à une note interne adressée le 5 avril aux responsables de la Préfecture par l'adjoint au chef de l'EMZPCOI à ce sujet : « *Pendant le W-E, comme à l'accoutumée dans le département, les déplacements en bus des personnes qui n'ont pas de véhicules sont légion. Les gènes occasionnées par une arrivée massive de bus sur le site pendant le W-E pascal sont par conséquent certaines. Faut-il pour autant leur interdire l'accès au volcan ? La décision à prendre est politique, mais la question doit être tranchée dès demain vendredi* ». Cette note a effectivement été suivie d'une interdiction d'accès aux plus de 3,5 tonnes à Bois Blanc. Etant clairement établi que cette restriction d'accès ne relève pas d'une décision scientifique (combien de personnes peut-on accueillir sur site sans danger ?), cela pose la question de la disponibilité des ressources de gestion de crise dans le cas d'événements intervenant pendant des périodes particulières comme les jours de fête.

n'accueille que 35 personnes. En fin d'après-midi, les appels d'auditeurs du sud de La Réunion se multiplient sur Radio Freedom. Ils décrivent l'immense panache en train de s'élever au-dessus du volcan, inquiets de savoir si il va « retomber », allant jusqu'à le comparer à celui produit par le Pinatubo en 1991 (alors que celui qu'ils sont en train d'observer n'est pas chargé en cendres).

- **Phase H : 7 avril**

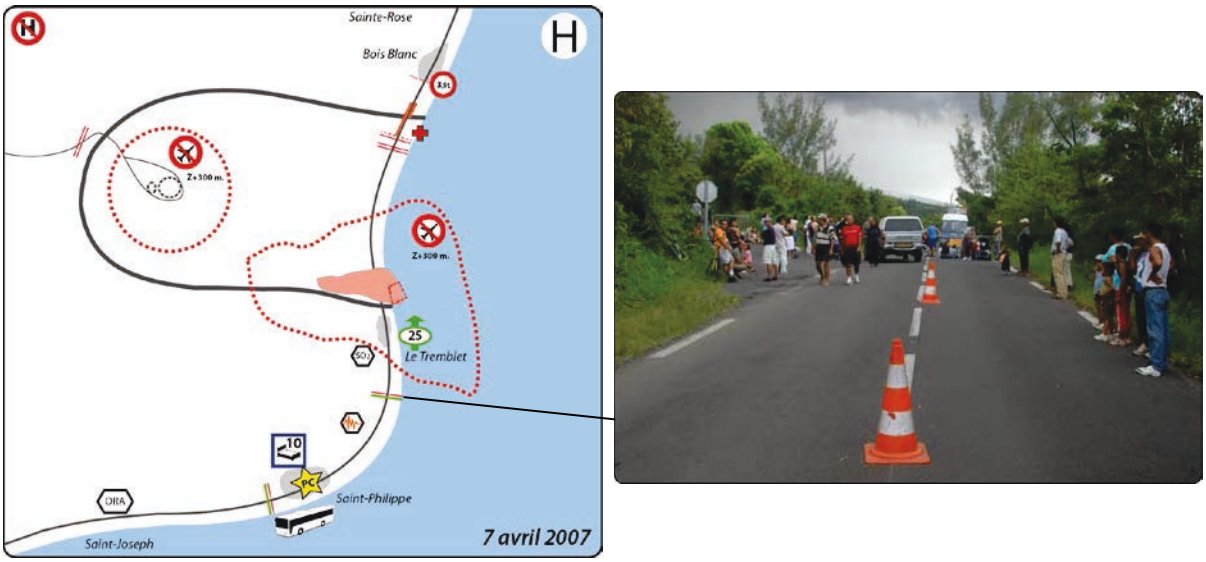



*Figure 53 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise le 7 avril 2007 et illustration du barrage filtrant du Tremblet*

- L'accès à l'Enclos par Sainte-Rose est restitué le 7 avril, mais à bonne distance des coulées. Les habitants de la Pointe du Tremblet sont autorisés à rentrer chez eux. Une zone d'exclusion aérienne est instituée : les appareils ne peuvent pas approcher à moins de 300 m d'altitude dans un rayon de 3 km autour de la zone éruptive.
- La presse titre « Le volcan s'effondre », ou encore « Le Tremblet aux portes de l'Enfer », et encourage le public à aller observer le spectacle côté Sainte-Rose.
- Certains habitants reviennent temporairement au Tremblet pour nourrir leurs animaux, 10 personnes choisissent de rester au centre d'hébergement. La fréquentation à Sainte-Rose est faible en raison du mauvais temps.

- **Phase I : 8 et 9 avril**

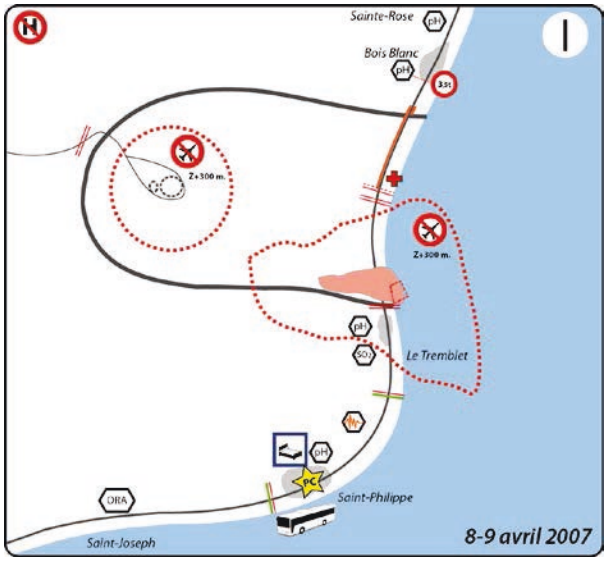



*Figure 54 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise les 8 et 9 avril 2007*

- L'ORA effectue à partir du 8 avril une campagne de surveillance du pH des eaux de pluie et de l'air à Saint-Philippe, au Tremblet, à Bois-Blanc et à Sainte-Rose. Les coulées sont à nouveau accessibles de près dans l'Enclos côté Sainte-Rose. Au Tremblet elles ne le sont plus, même pour les personnes munies d'un laisser-passer, en raison d'éboulements dans le rempart. Le réseau d'adduction d'eau potable, pollué, est vidangé.
- La fréquentation à Sainte-Rose reste faible (2000 personnes dans l'après-midi). Certains usagers de la mer s'approchent très près du front de coulée. Les habitants du Tremblet commencent le nettoyage de leurs maisons.

- **Phases J et K : du 10 au 13 avril**

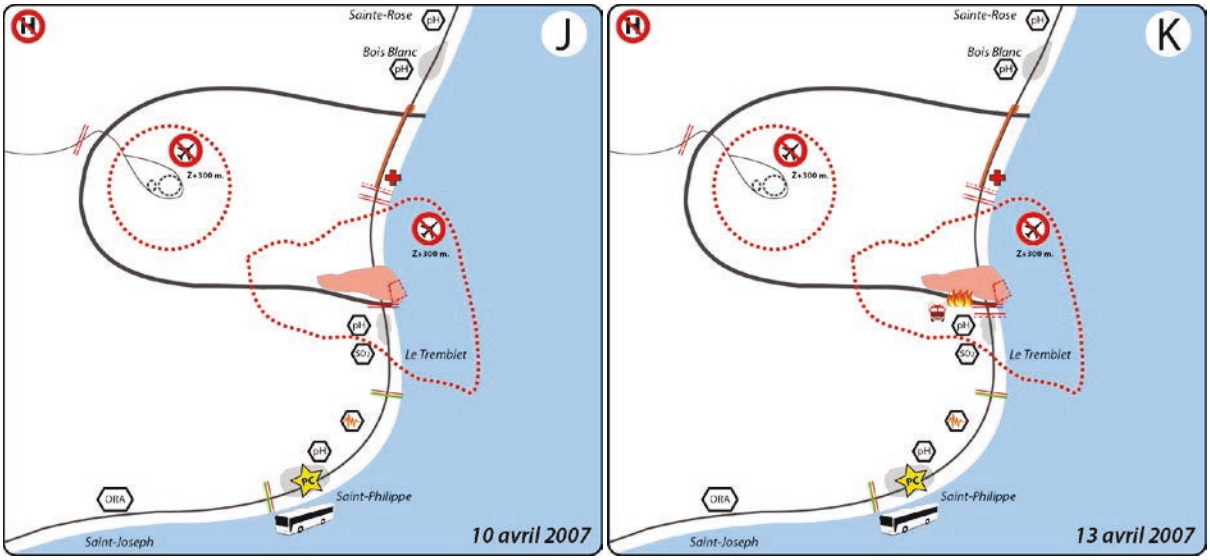



*Figure 55 - Dispositifs opérationnels mis en place au Piton de la Fournaise du 10 au 13 avril 2007*

- Des ajustements mineurs sont opérés du 9 au 13 avril. Le 9 avril, le centre d'hébergement est fermé. Le 10 l'accès aux véhicules de plus de 3,5 tonnes est rétabli à Bois-Blanc, l'école et le ramassage

scolaire reprennent au Tremblet. Une accalmie de quelques heures, le 10 avril, incite l'OVPF à déclarer prématurément l'éruption terminée. Le 13, les pompiers interviennent à nouveau pour des incendies dans le rempart, des cordistes de la DDE effectuent une purge de la falaise[100] (les incendies provoquant des éboulements).

- Les médias nationaux s'emparent du sujet de l'éruption suite à la découverte de poissons abyssaux autour du front de lave.
- Au Tremblet, l'interruption d'activité annoncée par erreur est mal vécue par les habitants, nerveux. Les commerçants s'inquiètent des conséquences économiques à court terme de l'interdiction d'accès au village. Des dérogations d'accès contingentées sont accordées par les autorités pour permettre au restaurant du village de prendre des réservations. Les habitants peuvent recevoir la visite de leur famille. Les Affaires Maritimes délivrent également des autorisations pour que certains bateaux puissent organiser des sorties d'observation des coulées. De leur côté, les pêcheurs se plaignent d'une activité très réduite, la température élevée de l'eau faisant fuir les poissons (baisse de 90% de leurs prises habituelles). En revanche, la situation profite aux hôteliers-restaurateurs de Sainte-Rose. Les coupures d'eau à répétition au Tremblet déclenchent un mouvement de solidarité d'entrepreneurs et associations du sud et de l'ouest de l'île. Le public se plaint de ne pas pouvoir approcher les coulées de plus près. Au Pas de Bellecombe, l'interdiction d'accès au belvédère est ignorée de la grande majorité des visiteurs. Des acteurs locaux du tourisme demandent une réouverture rapide du sommet.
- L'Association de Victimologie Réunionnaise met en place une cellule d'écoute psychologique au Tremblet (la préfecture envisage que la Cellule d'Urgence Médico Psychologique (CUMP) soit envoyée sur place seulement à partir du 30 avril !)

- **Du 14 au 19 avril**

- Le dispositif opérationnel reste quasi inchangé, il n'est donc pas cartographié. Le 15 avril, le laboratoire mobile de l'ORA se déplace de Saint-Joseph au Tremblet. L'OVPF démonte préventivement un théodolite qui menace d'être emporté dans le Dolomieu.
- Le 18 avril, la presse titre « *Au Tremblet, il pleut du « jus de citron »* » en référence à l'acidité des pluies.
- La fréquentation pour observer les coulées depuis Sainte-Rose reste faible. Au Tremblet, la Région organise la distribution de packs d'eau, et met des emplois verts à disposition pour le nettoyage du Tremblet.

[100] Travaux consistant à déclencher artificiellement l'effondrement de blocs et pans de rempart instables.

- **Phases L et M : du 20 au 24 avril**

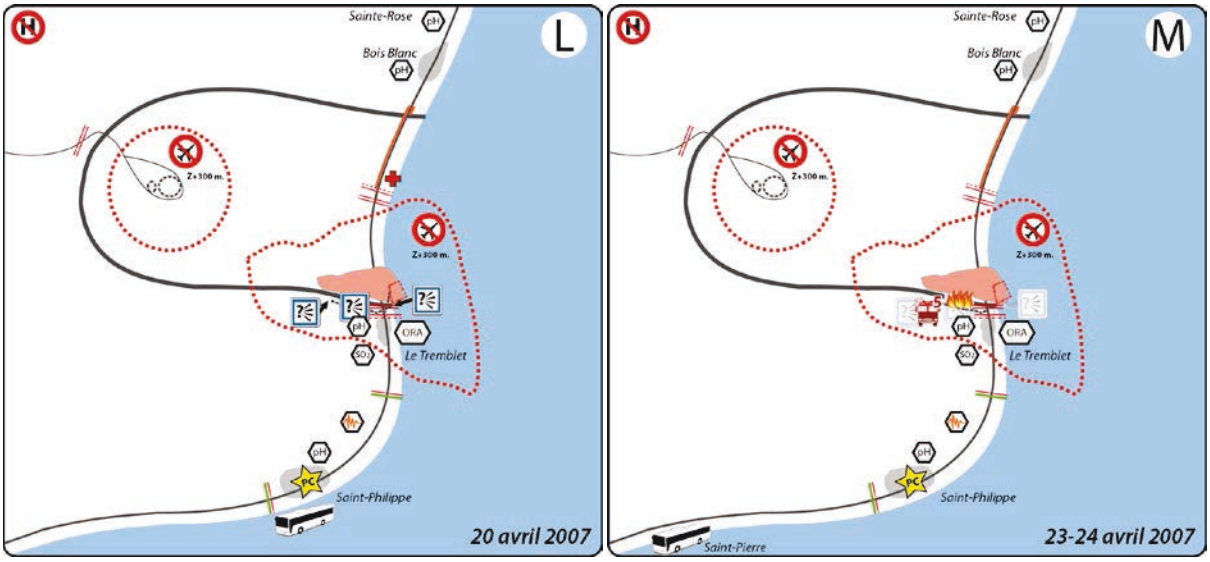



*Figure 56 - Dispositifs opérationnels mis en place au Piton de la Fournaise du 20 au 24 avril 2007*

- A partir du 20 avril, les autorités envisagent que l'accès au Tremblet soit rendu au public. Des épisodes de forte pollution atmosphérique et de nouveaux incendies vont contrarier ces projets. Le dispositif de sécurité est allégé avec la suppression du PMA côté Sainte-Rose et le stockage des moyens d'évacuation à Saint-Pierre.
- Les habitants du Tremblet redoutent le retour des touristes, refusant de voir l'éruption comme un spectacle compte-tenu des nuisances subies. Les visiteurs acceptent mal cette interdiction d'accès, une quarantaine de personnes s'en prend même verbalement aux gendarmes à Saint-Philippe le 22 avril.

- **Du 25 avril au 2 mai, jour de fin de l'éruption**

- La réouverture du Tremblet au public reste impensable en raison de la pollution atmosphérique relevée sur site. Au cours de cette période, des pompiers doivent être placés sous assistance respiratoire pour des malaises (ils ne disposent d'aucune protection contre les gaz pendant qu'ils luttent contre les incendies). A partir du 26 avril, l'ORA informe les habitants du Tremblet des dépassements de seuil en temps réel par SMS. Dans la nuit du 27 avril, la gendarmerie réveille les habitants de la Pointe du Tremblet pour leur ordonner le confinement… Le 28, les gendarmes, importunés par les gaz, se replient au barrage de Citrons-Galets. Aucune évacuation des habitants de la Pointe n'est pourtant décidée. L'accès au village est à nouveau autorisé aux seuls habitants et personnes autorisées.
- Les habitants du Tremblet s'équipent de masques anti-poussière, totalement inefficaces contre les gaz. Les commerçants se plaignent à nouveau de ne pas pouvoir recevoir de public. Tous se plaignent par ailleurs d'un manque d'information et de leur isolement, se sentant abandonnés par les autorités.

- **Du 3 au 5 mai (phase N)**

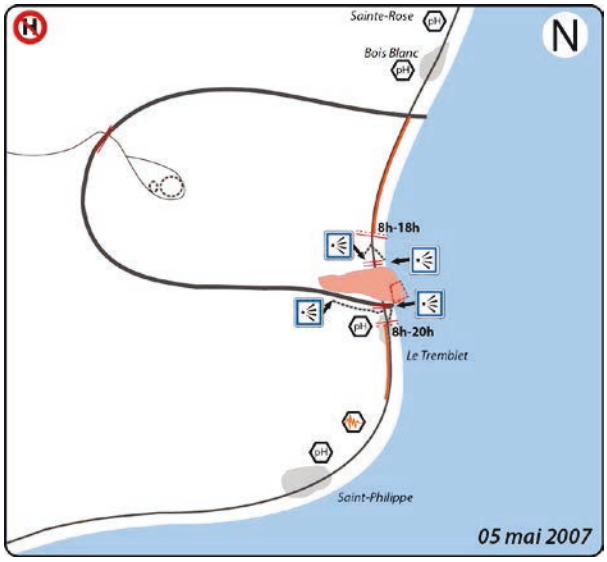



*Figure 57 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise le 5 mai 2007*

➢ Après la fin de l'éruption, l'accès aux coulées est autorisé des deux côtés de l'Enclos, sur des points de vue sécurisés accessibles la journée. Des recommandations sont rédigées à l'attention des randonneurs, attirant leur attention sur la dangerosité qu'il y aurait à s'aventurer sur les coulées de l'éruption d'avril 2007. Tous les autres sentiers forestiers et littoraux y menant, restent, comme depuis le début de l'éruption, interdits d'accès. L'interdiction d'accès est également maintenue pour la partie sommitale de l'Enclos.

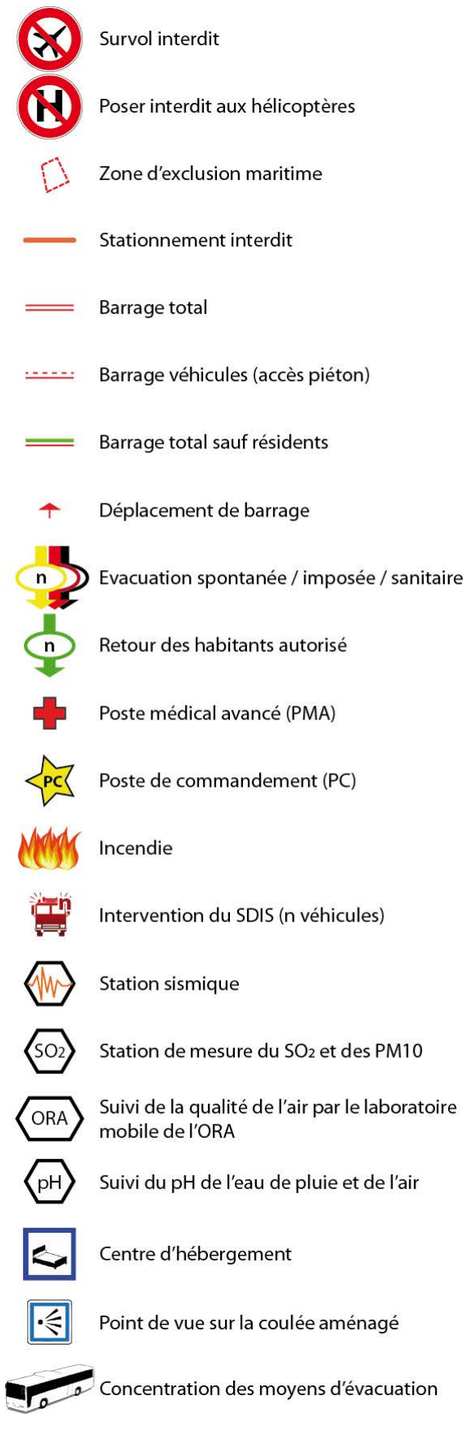



*Figure 58 - Légende pour les Figure 48 à Figure 57*

L'analyse de ces ajustements opérationnels constants invite à penser que la gestion de l'éruption a été gérée de manière mesurée, adaptée au plus juste aux événements et à l'intérêt du public. On relève pourtant un certain nombre de points d'achoppement qui nécessitent une analyse approfondie.

### 2.2.2. Les phases les plus problématiques de la gestion

Nous avons dégagé les quatre « sous-événements » qui posent le plus question en termes de gestion de crise, notamment parce que les réponses institutionnelles adoptées pour y faire face ne nous paraissent pas adaptées :

- l'afflux massif de visiteurs au Tremblet alors qu'une éruption hors-Enclos est redoutée ;
- l'évacuation brutale du Tremblet le 6 avril 2007 ;
- la gestion dilettante des épisodes de pollution atmosphérique ;
- enfin, l'interdiction prolongée d'accès au sommet suite à l'effondrement du Dolomieu.

#### ❖ *L'afflux massif de visiteurs au Tremblet dans un contexte d'éruption hors-Enclos redoutée*

- **Un risque perçu tardivement par les autorités**

En réponse à la médiatisation immédiate de l'éruption, des milliers de spectateurs affluent vers le Grand Brûlé en quelques heures. Après avoir garé leur véhicule quelques centaines de mètres en amont, les piétons peuvent approcher à environ 200 mètres des coulées qui coupent la RN2 (Figure 59). L'accès au spectacle est autorisé côté Sainte-Rose et côté Saint-Philippe, décision qui va totalement à l'encontre des craintes formulées par les scientifiques de l'OVPF dès le début de l'activité éruptive du 2 avril. Les volcanologues redoutent en effet la propagation de la fissure éruptive hors-Enclos au-dessus du Tremblet, dans une zone comprise entre la Pointe du Tremblet et la pointe de la Table (Figure 42). A plusieurs reprises, le responsable technique de l'OVPF avertit les autorités du caractère potentiellement critique de l'affluence sur ce site, des centaines de personnes risquant d'être encerclées par les coulées. L'accès reste pourtant ouvert, et les forces de l'ordre dénombrent 30 000 personnes dans la nuit du 2 au 3 avril, avec un pic de 4 à 5 000 personnes de chaque côté des coulées entre 21h45 et 00h30 (EMZPCOI, com. pers.). Le 3 avril, l'ONF dégage même un nouveau sentier menant à une plateforme en bordure de rempart, sous le Tremblet, pour permettre au public de surplomber les coulées et d'observer leur arrivée en mer. Il faut attendre le 4 avril pour que l'accès au Tremblet soit enfin interdit. Cette décision soulage les habitants du village, qui, au cours des enquêtes, se plaignent presque tous des gênes occasionnées sur la vie quotidienne par l'affluence de visiteurs commettant parfois des incivilités (tapage nocturne, violations de propriété, vols, stationnement gênant devant les portails en dépit des règles de stationnement édictées). L'arbre des causes et conséquences de cet afflux massif au Tremblet est dressé en Figure 60.

*Figure 59 - Spectateurs, forces de l'ordre et journalistes assistent à la coupure de la RN2 par la lave le 2 avril 2007 au Tremblet*

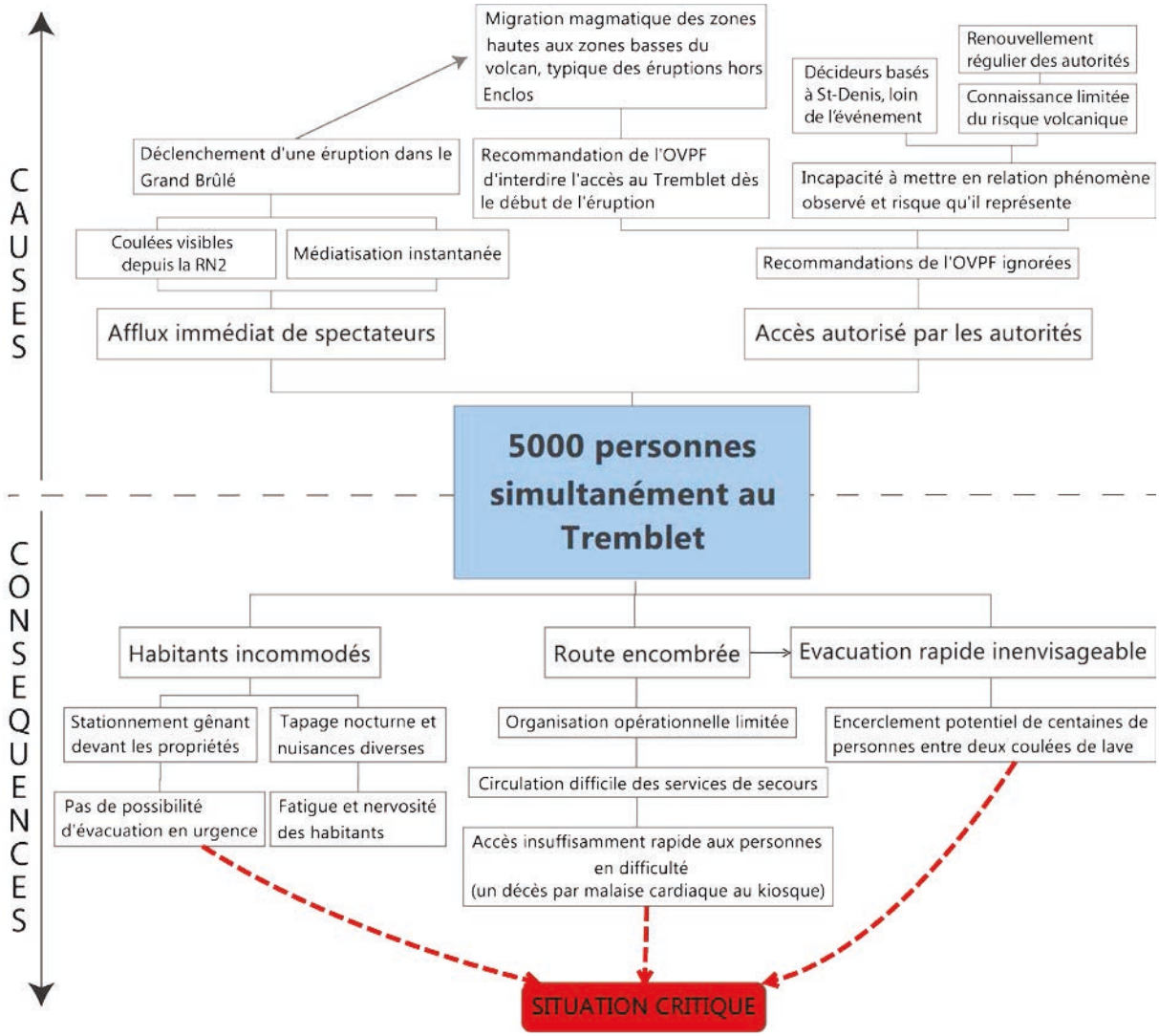



*Figure 60 - Arbre causes/conséquences de l'afflux massif de visiteurs au Tremblet du 2 au 4 avril 2007*

- **Simulation d'évacuation de foule au Tremblet par Système Multi Agents**

Etant donné la vitesse d'écoulement élevée de la lave dans l'Enclos et la localisation probable des fissures à basse altitude en cas de sortie hors-Enclos (Figure 42), on estime qu'il aurait potentiellement fallu évacuer la zone du rempart à la Pointe de la Table en une dizaine de minutes pour mettre tout le monde en zone sûre si le scénario hors-Enclos s'était concrétisé. En début d'éruption, le 2 avril, la lave met 5h15 à parcourir les 2,3 km qui séparent le point d'émission de la RN2, soit une moyenne d'avancée de 0,12 m $s^{-1}$ dans des conditions de rugosité similaires à celles que l'on trouve dans la zone de sortie hors-Enclos redoutée. Toutefois, le 6 avril, la vitesse d'écoulement de la lave atteint 1 à 2 m $s^{-1}$ [Staudacher *et al.* 2009]. On choisit de retenir la valeur intermédiaire de 0,5 m $s^{-1}$, le débit et la vitesse des coulées ayant constamment augmenté du 2 au 6 avril. Considérant une ouverture hors-Enclos au-dessus de la Pointe de la Table[101], la lave mettrait théoriquement moins de 12 minutes à parcourir les 350 mètres qui la séparent de la RN2. Or, toute personne connaissant les lieux sait empiriquement qu'il serait impossible d'évacuer plusieurs milliers de personnes du village dans ces délais.

Pour avoir une idée du temps théorique nécessaire à une telle évacuation, nous avons réalisé des Simulations Multi Agents. L'Annexe 14 décrit le choix et le paramétrage du modèle utilisé en nous basant sur un scénario d'enjeux et de vulnérabilités des plus favorables. Les résultats des simulations indiquent clairement qu'avec 2000 personnes présentes sur site, il faut plus de 15 minutes pour évacuer la moitié des individus à partir du moment où l'ordre d'évacuation est transmis, et 50 minutes pour évacuer l'ensemble des personnes (Figure 61), et ce uniquement jusqu'au rond-point Citrons-Galets, point de retournement obligatoire pour les véhicules[102].

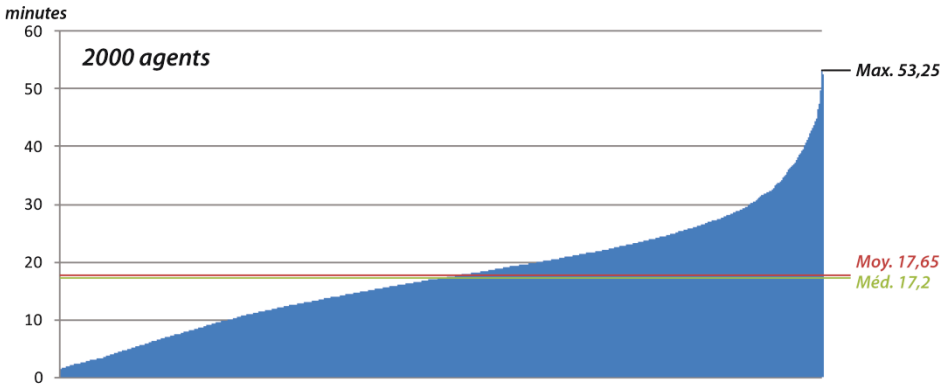



*Figure 61 - Courbe d'accessibilité à la zone refuge (pour 2000 agents)*

Les résultats diffèrent peu pour l'évacuation de 1000 personnes, avec un temps maximal de 50,1 minutes, une moyenne à 16,4 et une médiane à 15,9 minutes. Cette faible différence entre scenarii est liée à la largeur importante de la route, considérée sans obstacle pour la simulation, donc limitant les phénomènes d'encombrement et de gêne entre individus. Ainsi, même dans ces conditions optimales, l'évacuation serait irréalisable dans un laps de temps inférieur à plusieurs dizaines de minutes. En conséquence, pour ce scenario d'aléa hors-Enclos, plusieurs milliers de personnes se retrouveraient encerclées par les coulées, avec pour seule échappatoire une évacuation héliportée représentant un coût exorbitant en temps et en

[101] Le choix de ce point de sortie, désigné par l'étoile sur la Figure 42, est arbitraire mais plausible. Un point de sortie au-dessus de la Pointe du Tremblet impliquerait une arrivée théorique de la lave à la route en 76 minutes. Toutefois, dans l'optique d'une mise en sécurité des populations, il convient de retenir un point plus éloigné, qui nécessite un temps d'évacuation plus grand. On notera qu'un point de sortie n'était pas exclu directement sur la route : il n'aurait dans ce cas pas laissé une seule minute pour évacuer.

[102] Après ce point, l'évacuation devient à la fois piétonne et automobile, ce que nous n'avons pu modéliser en l'état actuel de nos connaissances. C'est également le point retenu comme limite de zone-refuge lors de l'évacuation réelle qui s'est déroulée le 6 avril 2007.

argent.

Ces résultats doivent inciter les autorités à se montrer plus réceptives et réactives aux recommandations des scientifiques de l'OVPF.

### ❖ *L'évacuation précipitée du village du Tremblet*

- **Déroulement des événements**

Face à la menace de fissure hors Enclos, un plan d'évacuation de la population du Tremblet est préparé sous l'égide du sous-préfet de Saint-Pierre et du maire de Saint-Philippe. Ce plan recense les habitants à évacuer (206 foyers totalisant 350 à 400 personnes), et les moyens de transport[103] et centres d'hébergement[104] disponibles. Un courrier est adressé le 5 avril aux habitants du quartier, leur indiquant les consignes de sécurité à respecter. Il y est précisé qu'une « *évacuation de la population du Tremblet ne sera décidée qu'en cas d'apparition de séismes sous la zone concernée* ». L'OVPF devra donc détecter une activité précursive hors-Enclos pour faire procéder à l'évacuation, conformément à ce qui est décrit dans le PSS volcan (décision théorique en Figure 62, partie haute). Le 6 avril au matin, le sous-préfet de Saint-Pierre rappelle ce principe en direct sur radio RFO. Une évacuation est pourtant décidée dans la précipitation vers 15h10, sans qu'aucun signal particulier n'ait été enregistré par l'OVPF, ni qu'aucune reconnaissance aérienne n'ait été opérée par les autorités. Les différences entre la décision d'évacuer telle qu'elle aurait dû être prise, et telle qu'elle l'a en fait été le 6 avril, sont schématisées en Figure 62 .

Les échanges entre acteurs, trop nombreux pour être tous figurés - ou même être répertoriés exhaustivement -, sont synthétisés sous forme de flèches uniques, numérotées pour indiquer les étapes de cette fausse alerte. Les numéros correspondant à la décision d'évacuation du 6 avril (partie basse de la figure) sont pour certains reportés directement dans le texte explicatif qui suit la figure pour en faciliter la lecture.

Le lecteur qui ne souhaiterait pas entrer dans le détail de cette figure remarquera simplement :

- l'absence d'observation de l'OVPF préalable à la décision d'évacuer ;
- l'ordre d'évacuation (→) donné par le PCO au lieu du COD ;
- et les nombreuses informations erronées (→) émises par les autorités et démentis formulés par les scientifiques (→), tous transmis en direct par les médias.

[103] Véhicules des particuliers, sept véhicules communaux pour un total de 32 places, deux bus et un poids lourd des FAZSOI pour 102 personnes et leurs bagages, des véhicules du SDIS pour dix personnes à mobilité réduite.

[104] Gymnase de Saint-Philippe, maison de quartier du Souffleur, maison de quartier de Mare Longue, et en derniers recours Centre Communal d'Action Sociale de Basse Vallée.

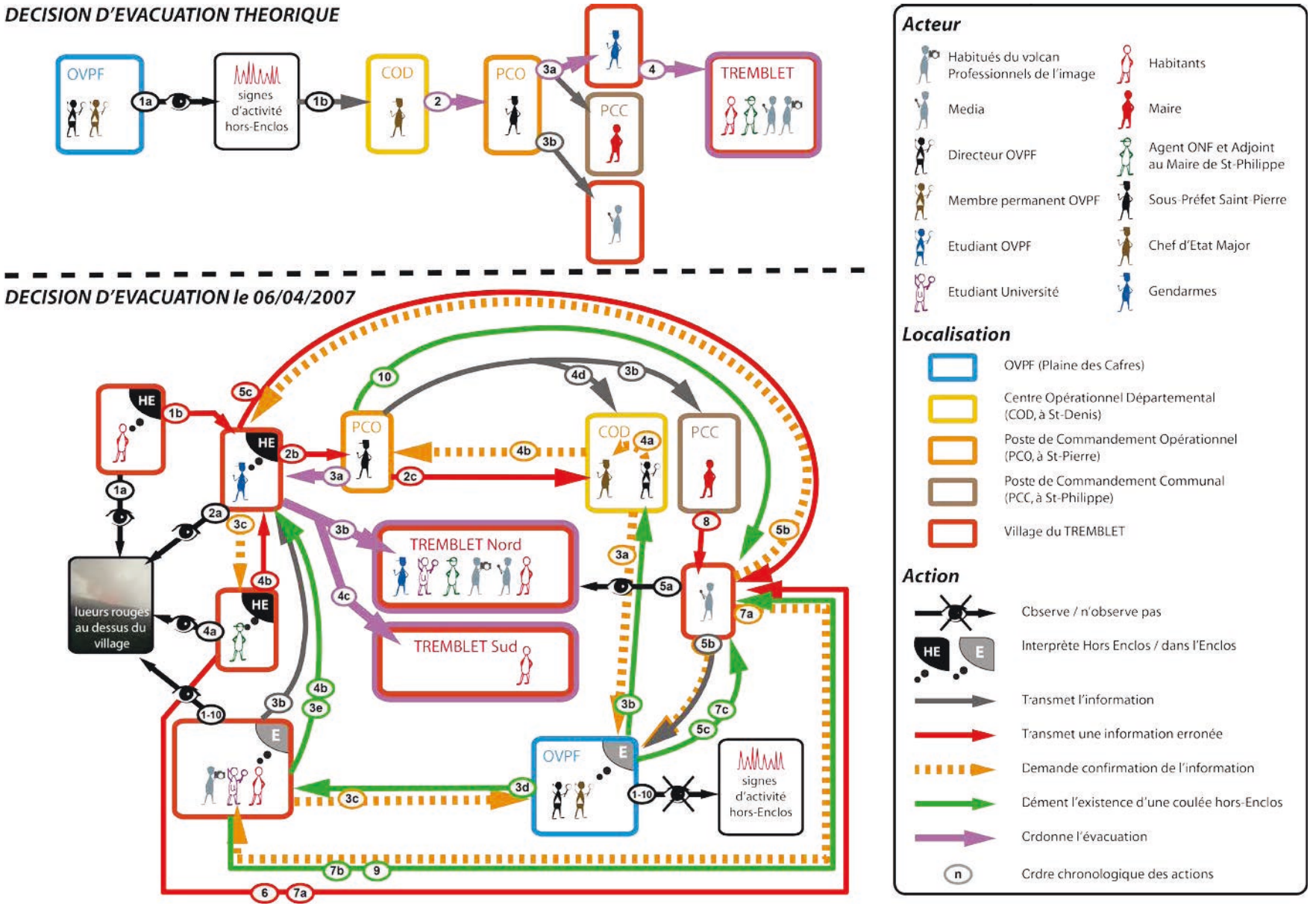



*Figure 62 - La décision d'évacuation du Tremblet en avril 2007 (comparaison avec la prise de décision définie dans le PSS Volcan)*

Vers 15h, à la faveur d'une embellie météo, une lueur rouge est aperçue au-dessus du Tremblet, en bordure de rempart, par des habitants situés à proximité du rond-point Citrons-Galets 1a. Ils en réfèrent aux gendarmes présents sur place, qui l'interprètent comme une coulée hors-Enclos 2a. Ceux-ci lancent alors une évacuation en urgence du quartier, avalisée par le PCO[105] 3a. Le nord du Tremblet, entre le rond-point Citrons-Galets et le rempart de l'Enclos, est intégralement évacué en moins de 10 minutes au moyen de voitures sono[106] 3b. Les gendarmes font preuve d'une grande fébrilité, qui se traduit par une certaine brutalité à l'égard des évacués et des tensions marquées avec certains habitants. Ceux-ci sont invités à rejoindre le gymnase de Saint-Philippe tandis que les autorités, regroupées au rond-point Citrons-Galets, font un point de situation et tentent d'organiser des reconnaissances. Un agent de l'ONF, également adjoint au maire de la commune, commet la même erreur d'interprétation que les gendarmes 4a, énoncée en direct sur radio Freedom 6. De nombreuses personnes présentes sur place pensent quant à elles qu'il s'agit de fontaines puissantes dans l'Enclos, si hautes qu'elles sont visibles au-dessus du rempart, depuis le village 1-10. L'OVPF, assailli d'appels, confirme à l'ensemble de ses interlocuteurs qu'aucun signal hors-Enclos n'est détecté 3b 3d 5c. Les membres du CDDV et du LGSR basés au Tremblet tentent de faire entendre raison aux gendarmes en leur faisant part de leur interprétation du phénomène et des données de l'OVPF 3b 3e 4b. Les forces de l'ordre refusent de prendre cet avis en considération : le diagnostic initial de coulée hors-Enclos est maintenu, y compris après une reconnaissance pédestre censée permettre une meilleure appréhension du phénomène. L'évacuation se poursuit alors dans la zone Sud du village, du rond-point Citrons-Galets jusqu'à Takamaka 4c. Compte tenu de la localisation supposée de la « coulée hors-Enclos », une bonne connaissance géographique des lieux aurait pourtant permis d'exclure l'évacuation de cette partie du village. Problème, trois quarts d'heure après le début de l'évacuation, les moyens de transport prévus ne sont toujours pas arrivés sur site. De son côté, le Directeur de l'OVPF, qui s'est assuré auprès de sa sismologue qu'aucun signal hors-Enclos n'était détecté 3a, tente de faire passer le message au COD où il est présent pour une réunion 4a. Il y règne un certain flottement : les protagonistes présents se demandent si l'évacuation est justifiée, mais, mis devant le fait accompli, chacun vaque à ses occupations : aucun point de situation collégial n'est engagé. Vers 16h, l'hélicoptère de la gendarmerie, jusqu'alors indisponible, arrive enfin au Tremblet pour une reconnaissance aérienne[107]. Elle permet de conclure officiellement à 16h30 qu'il s'agit d'une fausse alerte, les fontaines de lave hautes de près de 200 mètres étant effectivement visibles depuis le village 10. Les habitants de la zone Sud du Tremblet sont alors autorisés à rentrer chez eux, moins d'une heure après avoir évacué - quelques minutes pour certains -. La partie Nord du village, au-delà du rond-point Citrons-Galets, reste en revanche formellement interdite d'accès en raison de l'intensité de l'activité dans l'Enclos et du risque de débordement des ravines.

Durant tout l'événement, la confusion qui règne est palpable à l'écoute des radios de l'île, qui transmettent en direct les informations contradictoires énoncées par de nombreux intervenants, officiels de la gestion de

[105] Selon la sous-préfecture et le chef d'EMZPCOI interrogés en 2008 ; toutefois, plusieurs sources de terrain concordent pour dire que les gendarmes ont pris seuls la décision sur le terrain, sans en référer à aucune autorité supérieure. En l'absence d'accès aux archives opérationnelles, cet éventuel dysfonctionnement n'a pu être élucidé. En tout état de cause, le COD ne prend pas l'ordre d'évacuation, contrairement à ce qui est prévu dans le PSS.

[106] Le 6 avril au matin, les autorités conseillent l'évacuation préventive aux habitants de la Pointe du Tremblet, situés entre la ravine Pont-Rouge et le rempart de l'Enclos. On craint qu'ils ne soient pris en étau entre la ravine en crue et les coulées de lave. Il n'y a par ailleurs plus d'eau ni d'électricité au Tremblet, et l'air, chargé en gaz volcaniques, est irrespirable. D'eux-mêmes, certains habitants ont commencé à partir dès le 3 avril, essentiellement parce que leurs enfants sont effrayés et subissent des troubles du sommeil. Le 6 avril au matin, sept des 15 familles du hameau ont évacué, il n'en reste donc que huit à évacuer dans cette zone Nord.

[107] Son autonomie en carburant ne permet pas un détour par la Plaine des Cafres pour embarquer un membre de l'OVPF pour la reconnaissance.

crise ou non (Annexe 15). Personne ne semble dominer la situation. Les habitants du Tremblet se disent déboussolés à l'écoute de ces informations, qui sont par ailleurs les seules à leur être transmises. Notons que les journalistes en studio font correctement leur travail en soulignant les contradictions énoncées et, contrairement aux autorités, en se tournant à de nombreuses reprises vers l'OVPF pour tenter de clarifier la situation. On retiendra ce rôle paradoxal des médias qui tentent de démêler le vrai du faux, mais qui, en transmettant en direct des informations contradictoires, alimentent la confusion.

- **Fondements de la décision d'évacuation**

L'évacuation est décidée par les gendarmes sur le terrain, en dehors de toute logique affichée dans le PSS. Ils ne contactent ni l'OVPF pour confirmation de l'information scientifique, ni le COD pour faire avaliser la prise de décision. OVPF et COD, pourtant censés en être les instigateurs, sont ainsi mis devant le fait accompli de l'évacuation. L'OVPF en est même informé par Radio Freedom !

Au-delà d'un défaut évident de connaissance du PSS, la nervosité des forces de l'ordre au Tremblet a joué un rôle certain dans le déclenchement de la fausse alerte. Nos observations et les témoignages recueillis concordent tous sur la fébrilité extrême des gendarmes qui ont organisé l'évacuation. L'atmosphère « apocalyptique »[108] qui règne sur le site, une déclaration de l'OVPF laissant supposer que les scientifiques ne sont pas nécessairement capables de détecter une sortie hors-Enclos[109], une absence notable de connaissance des phénomènes volcaniques par les gendarmes, font partie des éléments qui contribuent au déclenchement de l'évacuation. Ils sont, parmi d'autres facteurs contributifs, décrits en Figure 63.

- **Opinions sur l'évacuation**

Les représentations de cet événement diffèrent fortement d'une catégorie d'acteurs à l'autre. L'évacuation est officiellement considérée comme une réussite par les autorités car elle a montré l'efficacité du dispositif opérationnel et constitué un exercice grandeur nature peu coûteux ; cette satisfaction affichée explique sans doute partiellement qu'aucun RETEX n'ait été engagé. L'événement n'est d'ailleurs pas mentionné dans les communiqués de la préfecture. A plusieurs reprises, les autorités se félicitent dans les médias du calme dans lequel s'est déroulée l'évacuation. Par ailleurs, le sous-préfet justifie l'absence de mise en place d'une cellule d'écoute par la CUMP par la faible durée de l'évacuation. Le fait qu'un organisme indépendant, l'Antenne Réunionnaise de l'Institut de Victimologie (ARIV), décide de s'y substituer pour apporter un soutien psychologique aux habitants, montre que l'évaluation de l'événement n'est pas la même pour tous. Officieusement, d'ailleurs, les représentations sont plus mitigées. Les acteurs de terrain interrogés lors de la réalisation de notre RETEX révèlent des dysfonctionnements qu'ils attribuent aux autres acteurs en tentant «d'externaliser » leurs actions, preuve d'un certain malaise.

Les scientifiques ressentent une certaine frustration : leurs tentatives pour se faire entendre ont été vaines au cours de l'événement, et passées sous silence ensuite. L'équipe de l'OVPF regrette ainsi un travail journalistique limité lorsqu'il s'agit d'expliquer les raisons de la fausse alerte. Les médias (tous types confondus) retiennent de l'évacuation qu'elle a été déclenchée suite à une erreur de jugement, omettant de souligner que l'interprétation de l'OVPF était juste. Il en est de même pour l'ensemble des personnes (professionnels de l'image, scientifiques, habitants) qui avaient dès le début correctement interprété le regain d'activité volcanique et tenté d'en convaincre les gendarmes. La situation est d'autant plus contrariante que l'OVPF avait anticipé les possibilités de fausses interprétations liées aux incendies dans le

[108] Qualification employée par les habitants témoignant de la situation.

[109] Le 6 avril, l'OVPF indique dans son communiqué « *A l'heure actuelle, nous n'observons pas de sismicité dans la zone du Tremblet, mais la vigilance et des observations visuelles de la route nationale 2 vers le Tremblet et jusqu'à 1 à 2 km au sud du rempart sont fortement recommandées* ».

rempart du Tremblet, réussissant à endiguer une première rumeur le 5 avril en début de matinée.

Enfin, l'évacuation fait figure d'événement négatif pour la quasi-totalité des habitants qui la définissent comme brutale et stressante, voire traumatisante[110]. Elle est d'ailleurs l'un des trois thèmes récurrents abordés spontanément par les villageois auprès des victimologues de l'ARIV (avec le manque d'eau dans le secteur du Tremblet, et l'isolement social [Payet *et al.* 2007]). En guise d'évacuation calme, les habitants ont vu débarquer à la Pointe du Tremblet des gendarmes affolés et directifs dans des 4*4 roulant à vive allure, à grands renforts de gyrophares, sirènes et porte-voix. Aux habitants les questionnant, ils ont délivré des réponses fortement génératrices de stress : « *Evacuation ! On a trois minutes pour évacuer, il y a une coulée qui nous arrive dessus, on va être pris au piège, il faut tout de suite aller se réfugier !* », « *Dépêchez-vous, on va être pris au piège, la coulée arrive !* ». La plupart des habitants, dominés par la peur, fuient docilement, sans même qu'on leur laisse le temps de fermer leur porte à clefs. A l'évidence, les gendarmes souhaitent eux-aussi pouvoir se mettre à l'abri dans les plus brefs délais. Deux habitants au moins opposent toutefois une résistance de principe avant d'accepter l'évacuation, invitant les gendarmes à commencer par se calmer. Notre campagne d'enquête a été l'occasion de constater que certains habitants restent très marqués quatre ans après cette fausse alerte, retenant difficilement leur émotion à son évocation lors des entretiens. Le caractère précipité de l'évacuation est d'autant plus mal vécu que les habitants et certains officiels (agents communaux, gendarmes, pompiers et scientifiques) sont convaincus qu'une évacuation préventive aurait été justifiée face à l'incertitude des conséquences sanitaires de l'éruption à la Pointe du Tremblet, à partir du 5 avril au soir au plus tard.

[110] Puisque synonyme du risque imminent de perdre tous ses biens et ressources. Seuls deux habitants sur l'ensemble des personnes interrogées jugent l'évacuation fondée : « *elle a constitué un bon entraînement si un jour une coulée arrive vraiment sur le village* », « *dans le doute, il valait mieux évacuer* ».

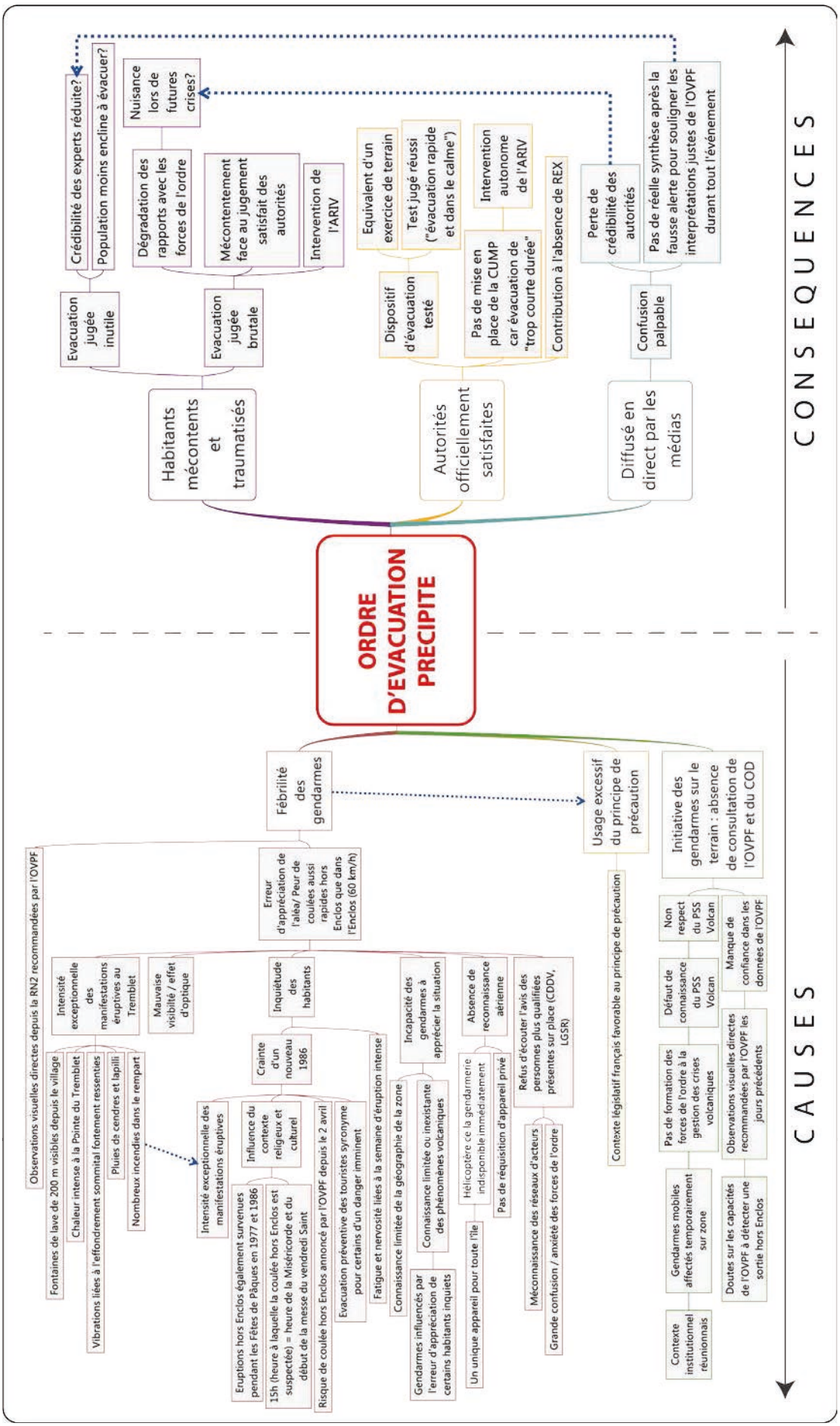



*Figure 63 - Causes et conséquences de la décision d'évacuation du Tremblet le 6 avril 2007*

### ❖ *La gestion controversée des épisodes de pollution atmosphérique*

- **Les faiblesses du réseau de surveillance de la pollution atmosphérique**

Les émissions de gaz et particules décrites précédemment (2.1.2) ont donné lieu à des épisodes de pollution atmosphérique sans précédent sur l'île. Dès le 3 avril, des émanations gazeuses provoquent des gênes respiratoires chez une cinquantaine de collégiens dans trois établissements scolaires de Saint-Joseph. Quatorze élèves sont évacués à l'hôpital par prudence. La préfecture transmet immédiatement via les médias les consignes de comportement en cas de pollution atmosphérique à l'ensemble de la population réunionnaise, et une équipe de l'Observatoire Réunionnais de l'Air (ORA[111]) est dépêchée à Saint-Joseph afin d'analyser la qualité de l'air. Elle ne détecte pourtant pas de fort taux en $SO_2$, laissant penser à une dissipation des masses d'air dans l'intervalle, ou, plus grave, à des irritations liées à des composants chlorés en provenance du panache en mer, beaucoup plus dangereux pour la santé que le $SO_2$ [com. pers. ORA]. Certains personnels médicaux et enseignants des collèges de Saint-Joseph modèrent toutefois ces gênes en évoquant un probable phénomène d'amplification chez les adolescents. Quoi qu'il en soit, ce premier épisode de pollution permet de pointer le manque d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air en temps réel autour du volcan, alors que la Fournaise est la source de $SO_2$ potentiellement la plus importante sur l'île. Conformément à la réglementation en vigueur, l'ORA surveille les pollutions d'origine humaine à l'aide de stations fixes dans les deux principales agglomérations (Saint-Denis et Saint-Pierre) et à proximité des centrales thermiques de l'île (à Sainte-Suzanne, Saint-Louis, Le Port). Il dispose également d'un laboratoire mobile qui permet l'analyse de l'ensemble des polluants réglementés (cf. note de bas de page 111). La région du volcan est surveillée en continu uniquement par un réseau de douze échantillonneurs passifs qui analysent le $SO_2$ sur une moyenne de dix jours. Leurs données, traitées en Angleterre, ne sont connues qu'en moyenne un mois plus tard. Or, sans mesure instantanée de la qualité de l'air, aucune alerte de la population n'est possible. Les autorités sont donc confrontées dès le début de l'éruption à un problème de taille : pouvoir quantifier les polluants émis pour déterminer leur éventuelle toxicité et en avertir la population.

Dès le jeudi 5, un capteur de $SO_2$, de PM10 et un partisol[112] sont installés au Centre Communal d'Action Sociale du Tremblet (Figure 64). Le cas de la Pointe du Tremblet, où la végétation a été brûlée en quelques jours par les pluies acides, est particulièrement préoccupant. Le 6 avril, le préfet demande un renforcement du dispositif de l'ORA pour pouvoir y mesurer l'acidité de l'air et de l'eau de pluie. L'acquisition d'une unité d'échantillonnage et d'une centrale d'analyse est écartée, « *le coût (40 000 €) étant prohibitif et nécessitant la recherche d'un financement spécifique, ce qui n'est pas à l'échelle de la gestion de crise* » (document interne, DRASS, 2007). L'envoi de ce type de matériel depuis la métropole est alors envisagé, mais les délais de réaction, retardés par le week-end de Pâques et la durée d'acheminement, s'avèrent également inadaptés à la gestion de la crise. Finalement, l'option retenue est une prestation de service du LSTUR[113], qui dispose de matériel adapté pour répondre à la demande. Le fait que cette solution locale n'ait été envisagée qu'en troisième intention semble indiquer un manque de communication entre acteurs locaux. Ces mesures de pH des eaux de pluie et de l'air sont réalisées en cinq points à Saint-Philippe et Sainte-Rose à partir du 8 avril. Au final, les mesures de qualité de l'eau de pluie réalisées par l'ORA du 8 avril au

[111] Association loi 1901 agréée par le Ministère de l'Ecologie, créée en 1998 pour répondre à trois objectifs : 1) surveillance des polluants réglementés dans l'air 24h/24 dans les villes de plus de 100 000 habitants : dioxyde de soufre ($SO_2$), dioxyde d'azote ($NO_2$), monoxyde de carbone (CO), ozone ($O_3$), benzène ($C_6H_6$) et particules fines (PM10 et PM2,5), 2) information des populations si possible en temps réel sur la qualité de l'air, 3) travail avec les services de l'Etat en cas de pollution atmosphérique.

[112] Filtre permettant de capturer les PM10 pour analyse.

[113] Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de la Réunion, ancien Laboratoire GéoSciences Réunion.

26 mai indiquent un pH < ou = 4 durant une journée à Bois Blanc et Sainte-Rose, durant 10 jours à Saint-Philippe et 22 jours au Tremblet [ORA 2008a], avec certains jours des pH proches de 2, soit une acidité comparable à celle du jus de citron. Des pH inférieurs à 5,6 (l'acidité d'une pluie non polluée) ont été relevés durant 34 jours à Saint-Philippe et 35 jours au Tremblet. Des pH de l'air inférieurs à 5,6 ont par ailleurs été relevés 26 fois du 8 avril au 31 mai [ORA 2008a]. Dans ces conditions, il n'est pas étonnant que 80 à 100% des répondants à l'enquête E-RUN2 (cf. 0) déclarent avoir ressenti une gêne respiratoire, cutanée ou oculaire (Figure 44). Seuls les habitants des cirques, protégés des aléas volcaniques, ne déclarent aucune gêne, tandis que le Nord de l'île est en grande partie épargné.

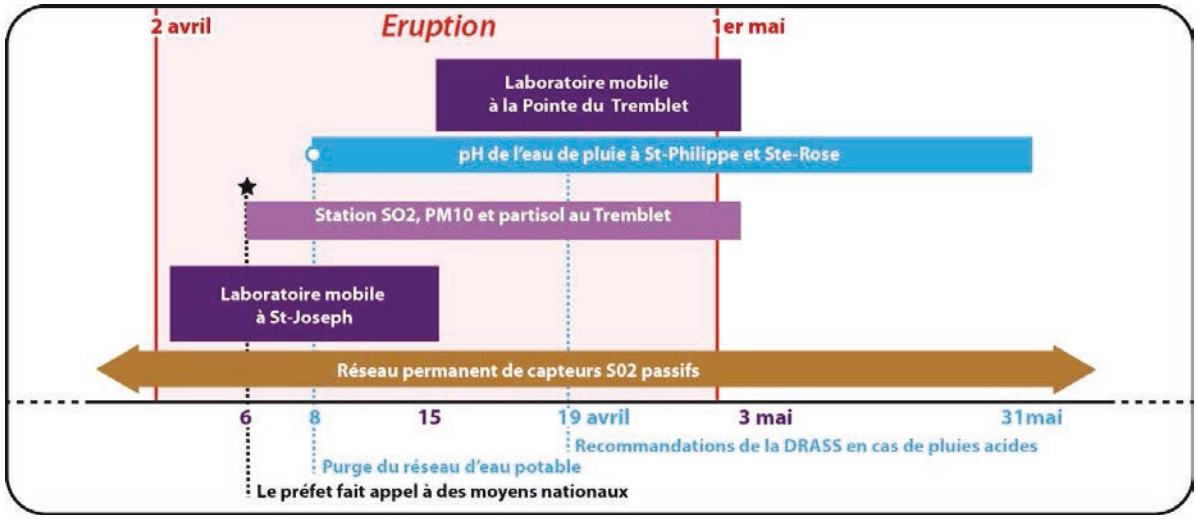



*Figure 64 - Mise en place graduelle du dispositif de surveillance de la pollution atmosphérique*

- **Une gestion maladroite des épisodes de pollution faute de connaissances suffisantes sur le sujet**

A l'échelle de l'île, les autorités ont réagi rapidement en diffusant des recommandations (Annexe 16) chaque fois que des cheveux de Pele ont été dispersés sur l'île, ou que les seuils légaux pour les concentrations en $SO_2$ ont été dépassés[114]. Cette capacité à délivrer rapidement des recommandations aux populations à l'échelle de l'île cache de grosses carences dans l'information délivrée aux habitants de Saint-Philippe les plus exposés. Les mesures de $S0_2$ opérées du 15 avril au 3 mai par le laboratoire mobile à la Pointe du Tremblet indiquent 18 dépassements du Seuil d'Information et de Recommandation, et trois dépassements du Seuil d'Alerte [ORA 2008b][115]. La législation sur la qualité de l'air est inadaptée à une région marquée par un volcanisme actif lorsqu'on sait qu'aucun seuil d'alerte n'est défini pour une exposition instantanée à une concentration élevée de $SO_2$ à partir du moment où celle-ci ne se fait pas sur 3h consécutives. Or, des concentrations très élevées sont relevées à plusieurs reprises au Tremblet, avec un maximum de 2486 µg/m$^3$ le 28 avril. Les autorités sont dans l'expectative totale, ignorantes des effets possibles de ces concentrations sur la santé, car aucune étude précise sur le sujet n'a jamais été menée à La Réunion. Une étude menée en août 2003 à Hawaii a pourtant formellement conclu à la nocivité du soufre, qui se transforme en acide sulfurique au contact des bronches et provoque des pathologies respiratoires et cardio-vasculaires à court et long terme [Michaud *et al.* 2005]. Les auteurs montrent par

[114] Valeurs fixées par le Décret n°2002-213 du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement. Le seuil d'information et de recommandation des personnes fragiles (SIR) est établi à 300 µg/m$^3$/h), le seuil d'alerte de l'ensemble de la population (SA) à 500 µg/m$^3$ sur 3h consécutives. Le décret fixe les valeurs limites annuelles pour la protection de la santé humaine : des concentrations moyennes horaires de 350 µg/m$^3$ ou plus ne doivent pas excéder 24 heures par an, des concentrations moyennes journalières de 125 µg/m$^3$ ou plus ne doivent pas excéder trois jours par an.

[115] Les mesures de $S0_2$ obtenues ultérieurement par le réseau de capteurs passifs au Tremblet indiquent que le SIR a été dépassé 32 fois et le SA 5 fois [Bhugwant *et al.* 2009].

ailleurs que la diffusion sous forme d'aérosol, touche plus de gens qu'une diffusion sous forme gazeuse. Au cours de l'éruption de 2007, La Réunion est justement touchée par un vog, comme elle l'avait déjà été en 2005 [com. pers. ORA], mais personne ne se hasarde à affirmer que les résultats de Michaud *et al.* [2005] valent pour La Réunion. Des concentrations en particules fines en suspension inférieures à 10 µm (PM10) sont également relevées, avec une moyenne de 46 µg/m$^3$ au-dessus des normes préconisées [ORA 2008b][116].

Dans ce contexte d'incertitude scientifique, les autorités sont dans l'incapacité d'apporter des réponses pour faire face efficacement à la situation, et adoptent des mesures dont certaines sont contestables (*) voire très contestables (**) :

- Les autorités ne peuvent pas appliquer la législation en vigueur, qui impose de faire cesser les sources de pollution au-delà du seuil d'alerte, ce qui est quelque peu problématique lorsque le pollueur est un volcan…
- (*) Les autorités sont dans l'incapacité de proposer des mesures protectives aux populations les plus exposées. La DRASS envisage de puiser dans les stocks inutilisés de masques FFP2 achetés en prévision de la pandémie grippale avant de se rendre compte qu'ils sont inadaptés pour ce type de protection. Certains habitants s'équipent d'ailleurs spontanément, et illusoirement, de masques anti-poussières - inefficaces aussi bien contre les gaz que contre les PM10 -.
- (**) Les forces de l'ordre présentes sur place, laissées en faction de nombreuses heures y compris en période de dépassement des SIR et SA, reçoivent l'interdiction de s'équiper de masques de protection pour ne pas affoler la population.
- (**) Des pH inférieurs à 3 sont relevés dès le 9 avril au Tremblet. Le cabinet du préfet exerce alors - vainement - des pressions sur les scientifiques pour que ces premiers résultats ne soient pas diffusés publiquement[117] : ils sont affichés par l'ORA près du laboratoire mobile au fur et à mesure de leur acquisition. Cette tentative de verrouillage de l'information s'explique par une méconnaissance des effets précis de ces pollutions, et une incapacité à répondre aux éventuels questionnements des populations. Il faut d'ailleurs attendre le 19 avril pour que la DRASS émette enfin des recommandations - pourtant élémentaires - sur l'utilisation de l'eau de pluie (lorsque son pH est inférieur à 5,6, éviter de la récupérer pour un usage sanitaire, et éviter d'être à son contact répété sans protection).
- (**) L'absence de mesures protectrices à proposer aux personnes présentes à la Pointe du Tremblet aurait dû conduire à une évacuation préventive de cette zone lorsque les concentrations continuaient à augmenter fortement une fois passés les seuils d'alerte. La plupart des acteurs impliqués dans la crise de 2007 le déplorent. Ce quartier ne fait d'ailleurs l'objet d'une surveillance complète par l'ORA qu'à partir du 15 avril.
- Point positif, face à la durée de l'éruption, la procédure de diffusion de l'information et de l'alerte aux populations exposées est simplifiée. Les numéros GSM des familles du Tremblet sont communiqués à l'ORA qui leur envoie des SMS en temps réel pour les informer des dépassements de seuil. Les différents résultats d'analyses et recommandations sanitaires pour la pollution au $SO_2$ sont par ailleurs affichés sur le laboratoire mobile de l'ORA et en mairie.

[116] alors que l'objectif de qualité fixé par le décret de 2002 est de 30µg/m $^3$ par an et que la valeur limite de protection des écosystèmes est établie à 40 µg/m$^3$ par an. Le SIR pour les PM10 est fixé à 80µg/m $^3$, le SA à 125 µg/m$^3$.

[117] Les gendarmes présents sur place reçoivent également l'ordre de ne pas les communiquer.

- (*) Un pic de $SO_2$ à 2174 µg/$m^3$ est enregistré à la Pointe du Tremblet vers trois heures du matin dans la nuit du 27 avril. Alors que ce système SMS fonctionne déjà, les gendarmes aidés d'agents de l'ONF réveillent les habitants en tapant aux portes pour leur demander de rester confinés chez eux... Cette mesure est jugée stressante et totalement inutile par des habitants de plus en plus en colère contre les autorités.

Le déroulement de l'éruption d'avril 2007 montre que les autorités n'ont jamais anticipé une pollution atmosphérique majeure liée au volcan. L'ORA réclamait pourtant depuis des années la mise en place d'un dispositif de surveillance de la qualité de l'air autour de la Fournaise. Faute de volonté politique et de financements publics, il n'a pas pu être mis en place. La communication a par ailleurs été très mal gérée à l'échelle du Tremblet, les autorités préférant verrouiller l'information lorsque sa capacité à l'interpréter en termes opérationnels était réduite (Figure 65).

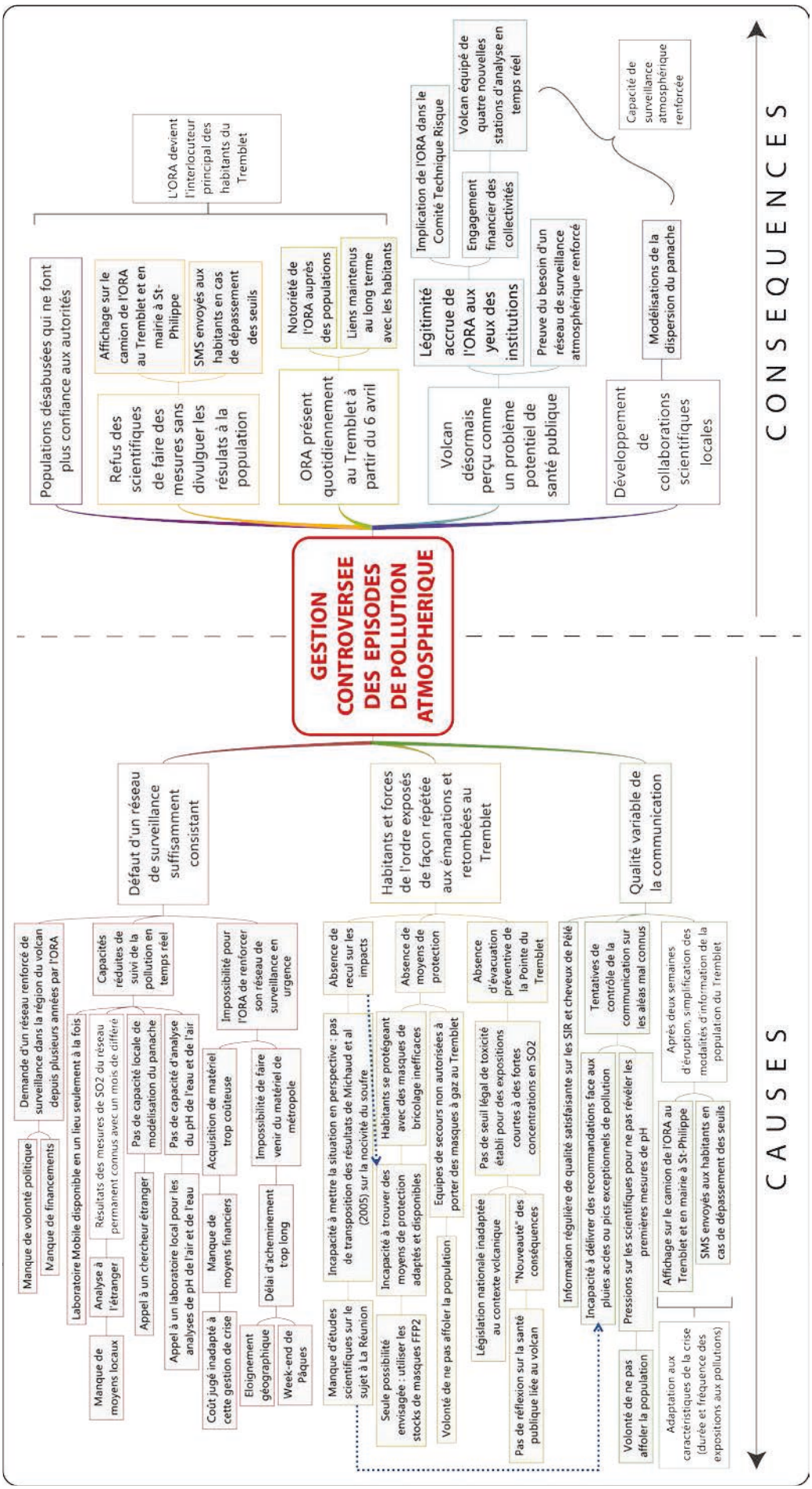



*Figure 65 - Une gestion controversée des épisodes de pollution atmosphérique*

### ❖ *Une interdiction durable - et méprisée - d'accès au sommet de la Fournaise*

- **Des modalités d'accès au sommet bouleversées par l'effondrement**

Un unique chemin, parcourant le mur de la caldeira, permet aux randonneurs de descendre dans l'Enclos Foucqué[118]. C'est ce que choisissent de faire 350 à 400 personnes par jour, soit la moitié des 270 000 visiteurs annuels du Pas de Bellecombe [ONF, com. pers., 2005]. Avant l'éruption du 02 avril 2007, ces randonneurs avaient la possibilité de s'arrêter au Formica Leo ou de monter jusqu'aux cratères en passant par la Chapelle Rosemont puis les sentiers du Bory ou de Soufrière. Une fois au sommet, ils pouvaient faire le tour complet des cratères (Figure 66).

*Figure 66 - Vue et sentiers au départ du Pas de Bellecombe (l'accès aux sentiers varie en fonction des événements, ici : après la mise en place de la plateforme sommitale d'observation en décembre 2009)*

La gestion de l'accès à la zone sommitale du volcan est théoriquement simple. Elle consiste à promulguer un arrêté préfectoral d'interdiction d'accès à l'Enclos dès le passage en alerte 1, fermer le portail d'accès à clefs, attendre une stabilisation de l'activité, et effectuer une reconnaissance de terrain pour s'assurer que l'accès peut être établi de façon sécurisée pour les randonneurs, pendant ou juste après la fin de l'alerte 2 (Tableau 19). Le PSS Volcan stipule que « *les conditions d'accès au volcan en période d'éruption* […] *ont souvent suscité beaucoup de mécontentement et de critiques dans la mesure où l'accès à l'enclos demeurait presque systématiquement interdit pendant toute la durée de chaque éruption.* » Prenant en compte ce mécontentement, les autorités se sont fixé pour objectif « *de permettre à la population de bénéficier du spectacle de son volcan dans des conditions de sécurité maîtrisées associées à une véritable démarche d'information et de responsabilisation des visiteurs sur les sites éruptifs* » [Préfecture de La Réunion 2005].

L'effondrement du Dolomieu au cours de l'éruption d'avril 2007 va durablement entraver ces résolutions. Comme pendant toute autre éruption, l'accès est interdit en attendant une stabilisation de l'activité

[118] Une remontée par le Grand Brûlé prendrait plusieurs jours.

volcanique et sismique. Cette fois-ci, il faut aussi prendre en compte l'instabilité résiduelle au sommet : après l'effondrement, les rebords du Dolomieu continuent à s'effondrer, le réseau de fissures préexistant à l'événement s'est intensifié avec des fissures plus larges et plus nombreuses, et le sentier du Tour des Cratères a été partiellement emporté. Lorsque les autorités rétablissent l'accès à l'Enclos, le 16 juin 2007, la montée aux cratères reste donc formellement interdite (Figure 67). Le marquage au sol est supprimé pour décourager les randonneurs qui souhaiteraient tout de même s'y rendre et un ruban de signalisation tendu au milieu du chemin fait office de barrière. L'interdiction d'accès aux cratères se prolonge jusqu'au 24 décembre 2009, soit une période de 32 mois (Figure 67), un record à la Fournaise. En guise de compensation, les autorités ont tracé un sentier de 4 km en fond d'Enclos qui permet d'aller jusqu'au Piton Kapor. Un deuxième itinéraire de 4,5 km, menant au cratère Rivals, est livré au public le 30 juin (Figure 66 et Figure 67-2). Les autorités annoncent qu'une plateforme d'observation sera mise en place dès que la situation le permettra. L'arrêt de la sismicité sommitale, la stabilisation des pourtours du Dolomieu, puis le balisage d'un nouvel itinéraire dans les zones les moins instables, sont nécessaires. Cependant, même après un quasi retour à la normale au plan physique[119], les nombreuses reconnaissances menées par les autorités n'aboutissent à aucun consensus pour la réouverture (voir les raisons synthétisées en Figure 71).

[119] Le sommet ne constitue plus un site éruptif à proprement parler, mais une zone soumise à l'aléa mouvement de terrain. Dès lors, il devrait dès lors être géré comme dans n'importe quel autre site de montagne (au détail près qu'il est très facilement accessible, très fréquenté, et soumis à des conditions météorologiques de moyenne montagne, ce dont les randonneurs n'ont pas toujours conscience).

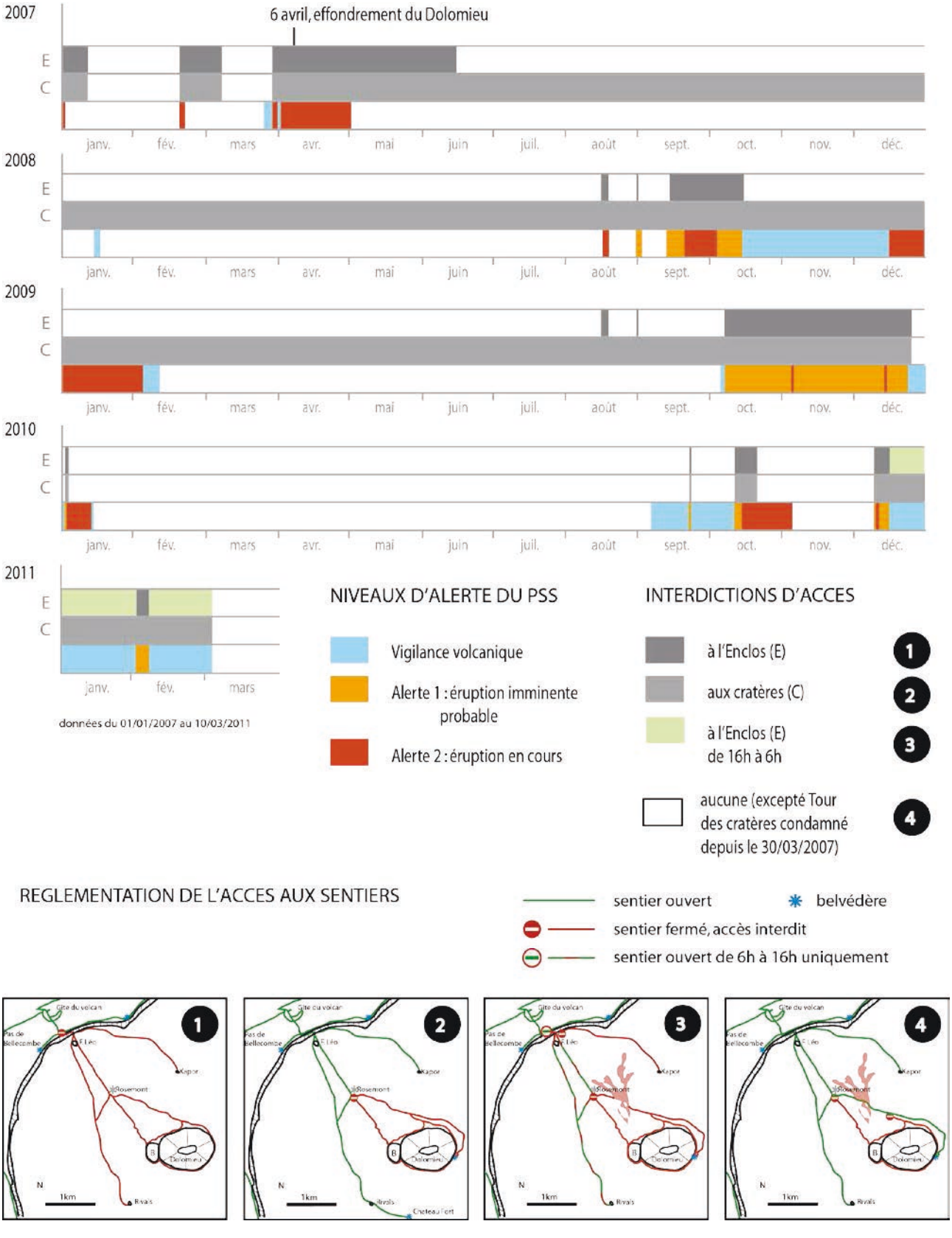



*Figure 67 - Conditions d'accès au volcan du 01/01/07 au 10/03/11 - actualisé d'après [Morin et al. 2010]*

- **Des cratères très fréquentés malgré l'interdiction d'accès**

Dans un premier temps, l'interdiction paraît légitime. La population s'y attend, les médias l'ont annoncé dès le 12 avril 2007 : « *On ne pourra plus visiter le volcan comme avant* », « *Pour une stabilisation du massif, et, ensuite seulement, une réouverture du site aux randonneurs, il faudra sans doute compter en semaines. Longues pour les amoureux du volcan, mais indispensables à la sécurité des marcheurs.* » [JIR, 12/04/2007]. Toutefois, après plusieurs mois, alors que seuls des éboulements mineurs subsistent dans le Dolomieu, la population se lasse de ne voir venir aucune mesure de réouverture. Le mécontentement grandit devant l'immobilisme des autorités : le non rétablissement de l'accès aux cratères fait l'objet de vives critiques dans la presse, les forums de discussion sur internet, les sites d'associations citoyennes[120]. Les Réunionnais se sentent volés. Le verrou de la porte d'accès au volcan est cassé à plusieurs reprises, et le portail est même découpé. La transgression de l'interdit devient alors un sport pour les Réunionnais bien décidés à faire connaissance avec leur nouveau volcan[121] et touristes extérieurs qui veulent rentabiliser le chemin parcouru. Nos enquêtes ont permis de dénombrer une moyenne de 70 personnes par jour bravant l'interdiction d'accès aux cratères. Fortuitement, les données des éco-compteurs de l'ONF permettant de mesurer la fréquentation dans l'Enclos, ne seront pas disponibles sur cette période d'interdiction (hasard du calendrier ou nécessité de ne pas officialiser les chiffres de cette fréquentation illicite alors qu'ONF et gendarmes sont chargés de faire respecter les interdictions d'accès ?). Les autorités ferment les yeux sur cette fréquentation de notoriété publique dont les témoignages fleurissent sur les réseaux sociaux, blogs et sites de vidéos en ligne. Seuls des contrôles ponctuels aboutissent à la délivrance d'amendes pour les randonneurs en infraction (Figure 68). La structure du portail est également renforcée pour en rendre le franchissement plus difficile.

*Figure 68 - Contrôle par les gendarmes des randonneurs qui sortent de l'Enclos en enjambant le portail (J.M. 03/01/2010)*

Un double problème se pose alors. Politiquement, la préfecture se met à dos la population et est décrédibilisée par son incapacité à prendre une décision d'ouverture (qui plus est dans ce contexte où rien n'est réellement fait pour empêcher l'accès des visiteurs aux cratères). Les citoyens en concluent que l'accès au sommet n'est pas si dangereux mais que les autorités ne souhaitent pas engager leur responsabilité.

Sur le plan de la sécurité, la combinaison de mesures GPS et de nos enquêtes auprès des randonneurs montre clairement que les visiteurs s'aventurent partout autour des cratères et marchent essentiellement le

[120] La plus active étant l'association des citoyens de Saint-Pierre (*http://citoyennedestpierre.viabloga.com/*).

[121] D'autant plus qu'ils ont été abreuvés d'images par les médias, mettant même en scène des personnes autorisées devant le cratère seulement quelques jours après l'effondrement.

long des parois les plus instables du cratère (Figure 69, à comparer à la Figure 46). En cause, une mauvaise représentation de l'aléa : 54% des randonneurs pensent que le quart Nord-Est est la partie la plus instable du sommet. Ils s'approchent à 76% à moins de deux mètres des bordures du cratère. La principale justification de leur présence illégale au sommet invoquée par les répondants (à 75%) est sans surprise de profiter du paysage et notamment du nouveau visage du Dolomieu. Ils sont 83% à penser malgré tout qu'il est dangereux de se trouver au sommet et 77% estiment avoir pris des risques (44% en raison de la proximité du rebord, 22% car l'interdiction d'accès est associée à l'idée de danger). Ils s'approchent pour prendre des photos (46%), se pencher pour voir le fond du Dolomieu (31%), ou aller aussi près que possible du rebord (19%).

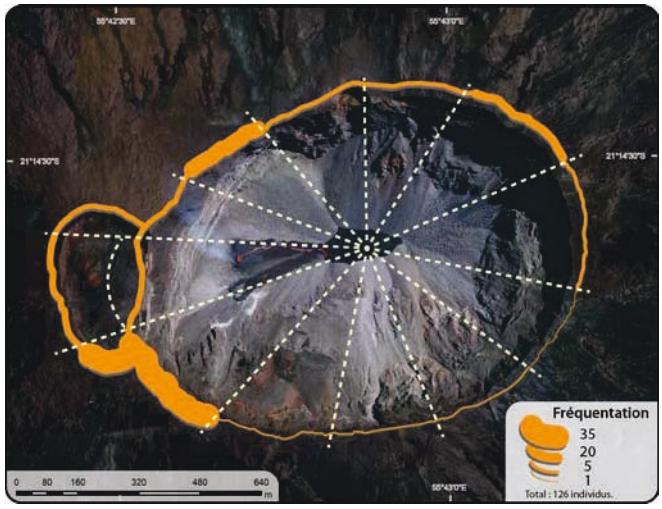



*Figure 69 - Fréquentation de la zone sommitale pendant la période d'enquête (janvier-juin 2009, n=126 ; modifié d'après Jacquard 2009)*

L'accès au sommet de la Fournaise devient une préoccupation permanente en termes de gestion du risque volcanique à La Réunion. Même si la probabilité qu'un randonneur soit emporté par un effondrement est infime, la mise en place d'une plateforme devient un impératif pour contraindre les marcheurs dans les zones les plus stables de l'édifice. Les randonneurs déclarent d'ailleurs à 78% qu'ils resteraient sur cette plateforme si elle était installée sur les bords du Dolomieu[122]. L'enquête tend à prouver que la mise en place de cette plateforme serait efficace pour réduire la vulnérabilité des randonneurs[123].

- **Une plateforme d'observation pour Noël**

Sous des pressions d'ordres divers (cf. Figure 71), le volcan est enfin « intégralement » rendu au public le 24 décembre 2009. Il est doté d'un nouvel itinéraire d'accès au sommet et d'une plateforme d'observation à l'Est du Dolomieu (en réalité une zone plane d'une vingtaine de mètres carrés délimitée par une ligne blanche à quelques mètres de la bordure du cratère). Des centaines de personnes affluent alors quotidiennement au sommet. On note à partir de cette période un changement radical dans la politique d'accès à l'Enclos. En janvier 2010, alors qu'une éruption se produit dans le Dolomieu, l'accès est laissé libre pendant toute l'alerte 2 après une courte fermeture en phase d'alerte 1 (Figure 67). En décembre 2010, alors qu'une coulée a coupé l'itinéraire qui mène à la plateforme, un accès est rétabli en quelques jours et les autorités aménagent des horaires d'ouverture pour permettre un accès sécurisé au sommet

[122] Une carte leur a été proposée avec deux emplacements potentiels d'implantation de la plateforme, définis sur des critères de stabilité géologique : l'une plein Ouest, sur la bordure extérieure du Bory, l'autre plein Est, sur la bordure du Dolomieu. La plateforme de Bory ne permettant pas d'apercevoir le fond du Dolomieu, 61% des randonneurs déclarent qu'ils s'aventureraient tout de même autour des cratères si elle était installée là.

[123] Ces résultats ont été transmis à l'EMZPCOI et à l'ONF.

(encarts 3 et 4 Figure 67). Par ailleurs, l'accès à la plateforme, annoncé interdit en cas de mauvais temps, reste possible y compris pendant les périodes d'alerte cyclonique. On note ainsi un retour au respect des engagements énoncés dans le PSS. Cette nouvelle façon de penser l'accès au volcan est sans doute, au moins pour partie, corrélée à la *sensibilité* des décideurs en place. Ces changements sont en effet concomitants avec l'arrivée d'une nouvelle équipe préfectorale dotée d'un directeur de cabinet adepte des randonnées en montagne.

La plateforme ne tient que partiellement son rôle officiel. Elle contient 95% des randonneurs, qui s'abstiennent de s'en éloigner. Le maintien du public dans une zone « stable » de l'édifice est évidemment positif. Le « fonctionnement » de la plateforme elle-même est toutefois critiquable, à la limite de l'absurde. Les gens, une fois arrivés au sommet, se précipitent derrière la ligne blanche qu'ils sont censés ne pas dépasser, pensant qu'ils se trouvent sur la « plateforme » (Figure 70). La grande majorité d'entre eux n'a pas conscience de la transgression, faute d'une information convenable accessible sur le parcours ou au point d'observation (Figure 71). La gestion de l'accès au volcan est ainsi marquée par un défaut majeur de communication.

*Figure 70 - « Plateforme » du Dolomieu (J. Morin, vues aériennes 12/01/2010, au sol 06/01/2010)*

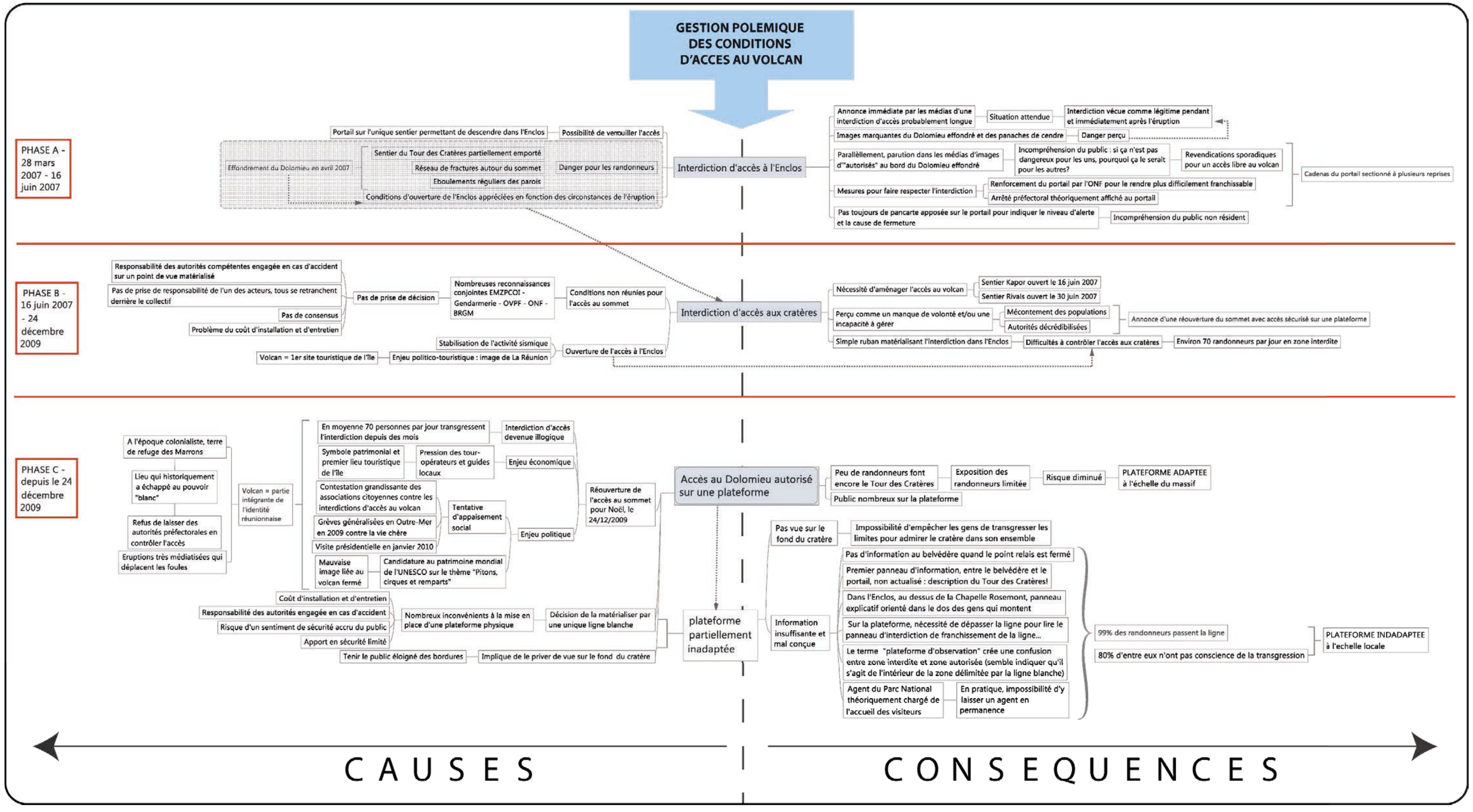



*Figure 71 - Causes et conséquences des politiques d'accès au sommet à partir d'avril 2007*

### 2.2.3. Identification et évolution des facteurs à l'origine des difficultés de gestion

La comparaison des causes et conséquences de ces quatre temps forts (Figure 60, Figure 63, Figure 65, et Figure 71) et l'analyse transversale de la crise permettent de relever un certain nombre de forces (facteurs d'équilibre) et de défaillances (facteurs de dysfonctionnement). Nous en dressons la synthèse par catégories d'acteurs. Nous cherchons ensuite à savoir si les défaillances observées lors de l'éruption de 2007 sont communes à celles survenues en 1986, et comment elles ont évolué jusqu'en 2012.

#### ❖ *Forces et défaillances des réponses apportées face à l'éruption d'avril 2007*

- **Réponses des scientifiques**

L'équipe de l'OVPF a produit un travail scientifique de qualité tout au long de l'éruption et montré une bonne capacité d'anticipation à la fois des événements volcanologiques (l'effondrement probable du Dolomieu était annoncé depuis novembre 2006) et des écueils opérationnels potentiels (installation rapide d'une nouvelle station hors-Enclos pour une meilleure détection du signal sismique, anticipation de rumeurs de coulées liées aux incendies dans le rempart, déplacement de matériel pour éviter qu'il ne soit emporté dans le Dolomieu).

En revanche, sa capacité à bien communiquer a été remise en question au cours de cet événement à travers :

- une prise de parole prématurée le 10 avril en annonçant l'arrêt de l'éruption[124] ;
- des remontées d'information limitées au sein de l'OVPF, et de l'OVPF vers l'IPGP[125] ;
- l'absence d'une voix unique, faute de pouvoir intégrer à l'équipe un chargé de communication, avec pour conséquences : la multiplication des interlocuteurs pour les personnes souhaitant joindre l'OVPF, ponctuellement (heureusement en « interne ») l'expression de dissonances liées à des avis personnels divergents sur les réponses à apporter face à certaines situations (par exemple le survol ou non du Dolomieu juste après le premier effondrement) ; d'un membre de l'équipe à l'autre, une capacité très variable à s'exprimer clairement auprès des médias ;
- une erreur terminologique qui aurait pu aboutir à une évacuation beaucoup plus large des pourtours de l'Enclos dans des délais très réduits au moment de l'effondrement du Dolomieu[126], solution finalement écartée grâce à une rectification rapide de l'information. Ce point pose le problème du degré de formation des personnels non permanents de l'OVPF amenés à communiquer au cours des éruptions ;
- une incapacité normale, comme dans n'importe quel autre observatoire volcanologique au monde, à communiquer certaines informations attendues des autres gestionnaires et populations : lieu et heure exacts de début d'éruption, étendue précise des aléas et impacts attendus ; parallèlement, une incapacité à communiquer efficacement sur cette notion, fondamentale en volcanologie, d'incertitude scientifique, en distinguant bien les prévisions des prédictions. La façon de formuler des demandes de reconnaissances visuelles depuis la RN2 a sans doute été maladroite, sonnant

[124] Johnston et Ronan [2000] soulignent la nécessité de ne pas rétrograder trop vite les niveaux d'alerte, et proposent de prédéfinir une durée incompressible de maintien d'un niveau avant le passage au niveau inférieur lorsque l'activité diminue.

[125] Le responsable des observatoires volcanologiques de l'IPGP, contacté par le COGIC, n'est pas en mesure de répondre aux questions qui lui sont posées sur la pollution liée au volcan, n'ayant pas été mis au courant de la situation par le directeur de l'OVPF.

[126] Un étudiant de l'OVPF affirme assister sur les webcams de l'OVPF au développement d'un énorme panache accompagné de « déferlantes basales ».

pour les autres gestionnaires comme un aveu de l'incapacité de l'OVPF à détecter une extension hors-Enclos de l'éruption.

Trois autres écueils à la communication, qui concernent l'OVPF mais qui ne lui sont pas directement imputables, se sont posés :

- l'OVPF ne fait pas partie des services ayant accès au SYstème Numérique d'Echange, de Remontée et de Gestion d'Informations (SYNERGI)[127], il ne dispose donc pas en temps réel des mêmes informations que les autres gestionnaires ;
- l'impossibilité pour le directeur de l'OVPF, présent au COD, d'accéder au serveur de l'OVPF contenant toutes les données volcanologiques en temps réel (pour des raisons de sécurité informatique) ;
- l'OVPF n'a pu imposer sa parole scientifique, totalement court-circuitée par les autorités lors des prises de décision requérant pourtant théoriquement sa consultation (notamment concernant l'accès au Tremblet, puis son évacuation).

Sur le plan purement pratique, l'éruption a montré que l'OVPF manque de moyens financiers. Il faut attendre la proposition de RFO de partager un hélicoptère pour qu'un des membres de l'OVPF puisse, pour la première fois depuis l'effondrement du 6 avril, effectuer un survol du volcan le 10 avril. L'OVPF manque également de personnel pour que l'ensemble du travail habituel, doublé des tâches de gestion de crise, puisse être assuré dans de bonnes conditions au-delà de deux semaines d'éruption. L'IPGP a, de ce point de vue, bien réagi en envoyant un sismologue en renfort pendant l'éruption. Dans ces conditions, la présence d'un personnel OVPF sur le terrain, n'est, selon nous, pas indispensable, dans la mesure où le schéma de gestion de crise imposé par le PSS est respecté, à savoir que l'OVPF est contacté en amont des prises de décision liées à l'évolution supposée de l'activité volcanique. L'analyse des circonstances de l'évacuation du Tremblet nous laisse penser que cette présence n'aurait probablement rien changé à la façon dont l'événement a été géré, dans la mesure où les gendarmes ont déclenché l'évacuation sans concertation avec aucun des acteurs présents sur site (ONF, CDDV, Université). L'OVPF est par ailleurs en contact permanent avec un réseau de passionnés[128] présents sur le terrain, en mesure, pour certains, de faire part d'observations phénoménologiques fiables, ce qui peut lui éviter de déplacer du personnel. Bien entendu, la présence d'un membre de l'OVPF reste indispenable pour effectuer les mesures et prélèvements de lave.

L'équipe de l'ORA a également réalisé un travail de qualité compte-tenu de ses moyens techniques. Son réseau de capteurs passifs permet une cartographie *a posteriori* des concentrations en gaz mais pas une détection directe indispensable à une activité de gestion de crise. Grâce à son laboratoire mobile, l'ORA a tout de même pu effectuer une surveillance en temps réel à la Pointe du Tremblet à partir du 15 avril, et a mis en place un système d'alerte des familles par SMS en cas de dépassement de seuil. Sa présence permanente jusqu'à la fin de l'éruption a permis de tisser des liens forts avec la population du village, entretenus depuis. L'instauration de ce mode de gestion proche des populations est nécessairement un

[127] L'application SYNERGI développée par le Ministère de l'Intérieur, de la Sécurité Intérieure et des Libertés Locales est un extranet sécurisé, accessible par internet. SYNERGI est destiné à la collecte et la transmission des données nécessaires au traitement des crises entre les services de gestion de crise, qui y mutualisent leurs constats. Tous ceux qui sont autorisés à accéder au site disposent 24h/24h de l'ensemble des informations disponibles. Un module de cartographie permet de présenter visuellement les données collectées (*http://pont-entente.org/programmes/sizif/sizif_synergi.php*). Cet outil permet ainsi d'harmoniser la remontée de l'information, de mettre à disposition un espace documentaire, d'établir un dialogue permanent entre les différents services et de faciliter la gestion des opérations de secours puisque tous les gestionnaires disposent de la même information au même moment. Rien ne devrait théoriquement s'opposer à La Réunion à ce que l'OVPF soit intégré à ce système puisque le BRGM y a accès (la distribution des codes d'accès est de la responsabilité de la préfecture).

[128] Essentiellement des membres du Centre de Diffusion et de Documentation sur le Volcanisme (*http://cddv.blogspot.fr/*).

gage de gestion facilitée des crises futures, l'organisme ayant acquis la confiance des habitants.

- **Réactivité et efficacité variables des réponses apportées par les autorités**

Au premier abord, on constate des ajustements permanents du dispositif opérationnel pour permettre au public d'accéder au site éruptif. On peut reconnaître en ce sens des efforts et une forte réactivité des autorités. Elles ont également été sensibles à la question de l'accès aux ressources des habitants des zones sinistrées d'une part (autorisations d'accès exceptionnelles pour que le restaurant du Tremblet puisse recevoir de la clientèle, autorisations délivrées aux pêcheurs pour emmener des touristes en mer) et des médias et professionnels de l'image d'autre part (autorisations d'accès délivrées à ceux qui en ont fait la demande).

Dans le détail, toutefois, les réponses apportées se révèlent partiellement inadaptées. Les barrages automobiles se situent la plupart du temps à plusieurs kilomètres des barrages piétons, eux-mêmes localisés à plusieurs kilomètres des coulées. Le public doit donc marcher longtemps pour parvenir à une limite d'accès d'où la visibilité sur l'éruption est faible. On peut imputer cet éloignement à un usage excessif du principe de précaution. Cela encourage les visiteurs à transgresser les interdictions d'accès, alors qu'une approche sécurisée beaucoup plus près des coulées serait parfaitement envisageable. Douze pourcent des résidents enquêtés en 2008 (E-RUN-4) déclarent ainsi avoir déjà enfreint un barrage. Nous avons par ailleurs vu que l'accès au site a été interdit aux bus pendant le week-end pascal pour soulager les autorités d'une charge de fréquentation supplémentaire[129]. La position des autorités au sujet de l'accès au site éruptif est donc ambiguë : elles énoncent qu'elles font tout pour satisfaire la curiosité des visiteurs tout en limitant leurs efforts d'engagement. Les réponses apportées pour gérer l'accès du public au sommet ne sont pas moins ambiguës. Quelques mois après le début de l'éruption, il est de notoriété publique que des dizaines de personnes accèdent quotidiennement aux cratères malgré l'interdiction. Les autorités laissent faire, sans toutefois rétablir officiellement l'accès (et donc engager leur responsabilité). Par ailleurs, les personnes qui disposent d'autorisations officielles d'accès[130] ne possèdent pas la clef du portail du Pas de Bellecombe. Son franchissement consiste donc à enjamber la grille, donnant au passage l'exemple à des touristes qui n'en auraient peut-être pas eu l'idée[131]…

Rappelons que le PSS stipule que la gestion doit permettre autant que possible l'accès des visiteurs aux sites éruptifs. Cet aspect fait donc partie intégrante des critères officiels d'une bonne gestion de crise volcanique à La Réunion, au-delà du principe de protection des populations.

Parmi les dysfonctionnements qui se sont produits, on relève également :

- une décision précipitée, sans prise en compte de l'expertise scientifique délivrée (lors de l'évacuation du Tremblet) ; des prises de décision au contraire très tardives en raison d'erreurs d'appréciation (incapacité à mettre en relation les phénomènes observés et le risque qu'ils représentent), ou du refus d'engager les responsabilités (en se retranchant trop systématiquement derrière « l'incertitude scientifique ») ;

[129] Il faut noter que l'événement intervient par ailleurs pendant les vacances scolaires de l'académie de La Réunion.

[130] En 2010, elles sont 86 personnes à disposer d'une autorisation d'accès temporaire, dont 21 journalistes, 12 personnels ONF, 10 personnels EMZPCOI, et des personnels DDE, maison du Volcan, Parc, ORA, OVPF, et Université essentiellement. Il faut y ajouter 81 autorisations permanentes, la plupart délivrées à l'OVPF, et qui ne sont plus toujours valables (personnes mutées voire décédées).

[131] Il est évident qu'une distribution de clef à chacune des personnes autorisées entrainerait des dérives et peut-être un accroissement du sentiment public d'un « *volcan confisqué* » réservé à quelques uns. C'est donc l'existence du portail en lui-même qui est discutable.

- un usage excessif du principe de précaution dans certains cas[132] (accès restreint aux coulées, évacuation, et interdiction d'accès sommet) et, à l'inverse, une absence totale de réaction dans le cas des gaz (en se retranchant derrière la législation et l'absence d'étude scientifique locale, en dépit du bon sens commun) ;
- l'absence d'anticipation de certains sujets clef pendant la crise (pas de moyens de surveillance aérienne positionnés à proximité de la zone de sortie hors-Enclos présumée, moyens d'évacuation visiblement mal positionnés puisque arrivés après la fin de l'évacuation, absence des moyens de protection qu'étaient en droit d'attendre pompiers et gendarmes présents au Tremblet) et l'absence d'anticipation des crises volcaniques potentielles en général (réseau de surveillance de l'air négligé malgré les demandes des scientifiques, pollution d'origine volcanique non prévue dans le PSS) ;
- des difficultés de communication au sein d'un même service (gendarmes ne parvenant pas à se joindre de part et d'autre de la coulée), et entre services (notamment entre le PCO et le COD : divergences entre les besoins exprimés sur site et ceux exprimés en réunion à la préfecture, soulignées par plusieurs protagonistes au cours de la dernière semaine d'éruption). Avec deux communiqués, ou plus, par jour du 2 au 17 avril, la communication externe a par contre été consistante ;
- on note, plus subsidiairement, des tensions ou pressions entre gestionnaires sur la façon de gérer la crise : cabinet du préfet / ORA sur la divulgation d'informations sur la qualité de l'air, Cabinet du préfet / EMZPCOI sur la gestion de l'accès au site éruptif, ARIV / CUMP suite à l'intervention autonome de l'ARIV au Tremblet faute d'intervention de la CUMP, et cabinet du préfet / OVPF à propos des décisions à prendre en fonction de l'évolution de l'activité ;
- un manque d'information des populations touristiques et riveraines : pas d'émission de messages clairs sur les conséquences sanitaires de l'éruption et même tentative initiale de verrouiller l'information autour des épisodes de pollution ; pas de panneaux informatifs sur site ; gendarmes expliquant le fondement des restrictions d'accès par un simple et peu satisfaisant « c'est trop dangereux » sans être capables d'informer plus précisément le public sur l'évolution de la situation, etc. ;
- un manque de coordination avec les autorités communales, quasi absentes du processus de gestion (excepté pour le recensement des habitants et la mise en place des centres d'hébergement), qui découle d'une double dynamique : (1) la mairie ne s'est pas préparée à faire face à une telle situation, elle ne possède d'ailleurs pas de PCS, (2) la préfecture impose son autorité sur le territoire communal, le PCC n'a aucun pouvoir dans les prises de décision, il ne constitue qu'une annexe du PCO[133]. On peut gager que ces deux dynamiques s'alimentent mutuellement.

Bon nombre de ces dysfonctionnements sont imputables à une inexpérience des crises volcaniques et à une connaissance limitée du territoire. Les réponses sont de fait souvent peu adaptées à la réalité du terrain :

- les barrages, placés sur la route, ne filtrent pas efficacement les individus autorisés ou non à

[132] Bertile [2011] l'explique ainsi « *Voulant bien faire et se couvrir vis-à-vis de leur hiérarchie, certains responsables récemment arrivés sur l'île ouvrent le parapluie et prennent un luxe de précautions.* ».

[133] Témoignage d'un adjoint au maire de Saint-Philippe.

accéder aux zones interdites : les natifs de la région, souvent imités par des touristes, empruntent les sentiers « *marron* » en forêt ;

- les gendarmes ne connaissent pas les réseaux d'acteurs locaux : "l'incident diplomatique" a ainsi été frôlé lorsqu'ils ont refusé de laisser accéder au Tremblet… le maire de Saint-Philippe ! Ils ont par ailleurs refusé d'écouter les conseils des réseaux d'habitués en contact direct avec l'OVPF au moment de l'évacuation ;
- le survol en hélicoptère réalisé immédiatement après le premier effondrement du Dolomieu a prouvé l'absence totale de conscience du risque du pilote s'étant approché beaucoup trop près du cratère dans un contexte d'éruption phréatomagmatique ou phréatique potentielle. Le comportement affolé des gendarmes lors de l'évacuation du Tremblet montre également une représentation fantasmée de l'aléa ;
- l'évacuation de la partie sud du village du Tremblet, Takamaka compris, relève d'une méconnaissance de la topographie locale : comment imaginer qu'une fissure ouverte directement dans le rempart juste au-dessus de la Pointe du Tremblet puisse alimenter une coulée dans le secteur de Takamaka ?
- l'organisation-même de la gestion, centralisée à Saint-Denis, est, dans le cas des éruptions, relativement inadaptée. La plupart des personnes impliquées dans la gestion viennent en effet de l'Est ou des Plaines, et, alors qu'elles sont occupées par la crise, doivent se déplacer pour des réunions au COD ;

L'ensemble des difficultés rencontrées auraient pu être profitables si elles n'avaient pas été niées par les autorités :

- négation des divers points évoqués précédemment, et en particulier du caractère brutal de l'évacuation du 6 avril, dont aucune mention n'est d'ailleurs faite dans les communiqués de la préfecture. Plusieurs sources[134] convergent pourtant pour dire que les gendarmes ont perdu leur sang-froid et procédé à une évacuation précipitée ;
- dans la lignée de cette négation, les autorités sont parties du principe que le bon déroulement et la faible durée de l'évacuation excluaient une intervention de la CUMP auprès des habitants du Tremblet. L'ARIV a jugé au contraire que la situation justifiait la mise en place d'une cellule d'aide psychologique [Payet *et al.* 2007] ;
- la gestion de l'éruption n'a fait l'objet d'aucun RETEX, malgré la généralisation théorique de la procédure à La Réunion depuis septembre 2006[135]. En entretien, les responsables du COD et du PCO estiment respectivement qu'« *il n'y a pas eu de crise en termes opérationnels* » et que « *la crise a été bien gérée* ». Le chef d'EMZPCOI admet toutefois qu' « *il y a eu crise après l'éruption, avec des difficultés à gérer l'ouverture de l'accès au Dolomieu* ». Le préfet lui-même admet en revanche en *off* qu'« *il n'y a eu aucune gestion* »[136]. Si l'on en croit les responsables du COD et du PCO, on peut attribuer l'absence de RETEX à une interprétation « calme » de la situation par les autorités, avec pour corolaire la logique d'éviter une démarche chronophage jugée infondée.

[134] Observation personnelle, témoignage d'habitants en direct sur Radio Freedom, et Payet *et al.* [2007].

[135] L'éruption de 2007 n'est d'ailleurs pas citée dans le guide « Les événements naturels dommageables en France et dans le monde en 2007 » [MEEDM 2007], et l'arrêté CATNAT n'est pas signalé dans la base GASPAR.

[136] Com. pers., anonymat requis, source fiable.

Notons par ailleurs que l'adjoint au chef de l'EMZPCOI a été muté en cours d'éruption, impliquant une réorganisation du service probablement préjudiciable à la bonne avancée des dossiers. A en croire le préfet, et en l'absence totale de possibilité d'accès aux archives de SYNERGI et aux archives directes des gestionnaires de l'événement[137], on peut toutefois se demander si ce RETEX n'a pas été « oublié » pour éviter d'officialiser certains aspects accablants de la gestion. Enfin, on peut s'interroger sur l'impact de la « période de réserve pré-électorale », imposée aux services de l'Etat du 23 mars au 17 juin, en amont des élections présidentielles et législatives. Elle explique peut-être en partie l'absence de regard critique sur cet événement. Le chef d'EMZPCOI nous confiait d'ailleurs en 2007 être très intéressé par notre démarche de RETEX, et totalement ouvert à la discussion des résultats. Il ne voyait donc aucune objection à ce qu'un « audit » externe vienne « compenser » l'absence de formalisation de RETEX en interne.

Notre analyse démontre que les réponses des autorités ne sont donc que partiellement compatibles avec l'idée que l'on peut se faire d'une gestion de crise optimale à La Réunion.

- **Médias et professionnels de l'image**

Les médias, tout en invitant ouvertement le public à se déplacer au spectacle, relaient correctement les consignes de sécurité pendant toute l'éruption. L'ensemble des sujets liés à cet événement sont abordés : phénoménologie éruptive, conditions d'accès au volcan, impacts. L'étude de la tonalité du discours médiatique [Bastian 2009] montre que la qualité de l'eau, le dispositif de sécurité et de secours, et la fausse alerte sont révélés et abordés progressivement de façon polémique (7% d'articles polémiques la première semaine d'éruption, 21% la quatrième). Si l'information délivrée est diversifiée et discutée, on peut tout de même s'interroger sur sa qualité globale et ses impacts :

- les médias ont involontairement contribué à alimenter l'inquiétude d'une partie au moins des habitants du Tremblet[138], en effectuant au total 36 rappels sur les éruptions hors-Enclos de 1977 et 1986 et leurs similitudes avec l'éruption de 2007 (l'inquiétude des populations fait d'ailleurs l'objet de 81 commentaires dans ces mêmes médias) ; Simonin [2005] souligne que cette activité mémorielle sur l'histoire du volcan est habituelle dans la presse réunionnaise qui établit souvent des comparaisons entre les éruptions ;
- les médias ont beaucoup relaté le sujet de l'effondrement du Dolomieu, et produit pour l'occasion des infographies. Or, à la Fête de la Science, en novembre 2007, le LGSR a réalisé une expérience simple pour reconstituer en 3D miniature ce processus d'effondrement. Nous en avons profité pour effectuer un sondage, en retenant 100 Réunionnais qui déclaraient avoir suivi quotidiennement les informations télévisées. Quatre-vingt-dix-sept pourcent ont déclaré qu'ils n'avaient pas compris le mécanisme de l'effondrement avant d'assister à l'expérience. Cela semble prouver que le contenu scientifique fourni par les médias, du moins télévisés, a été de qualité insuffisante, dominé par les descriptions du spectacle ;
- les images véhiculées par la presse de personnes autorisées en bordure de cratère après l'effondrement ont alimenté la grogne et donné des arguments à ceux qui revendiquaient un retour rapide au « libre volcan » ;
- enfin, le système médiatique réunionnais comporte le défaut d'apporter du crédit à la parole

[137] D'ailleurs jugées « *sensibles* » par le commandant des forces de gendarmerie à La Réunion.

[138] Evoqué quatre fois au cours des entretiens non dirigés au Tremblet.

d'experts autoproclamés, que ce soit à la radio ou à la télévision. Des réponses, tantôt farfelues, tantôt incompréhensibles, ont régulièrement été délivrées lors d'interviews avec des *non spécialistes*[139]. C'est sur Radio Freedom que ce phénomène est le plus problématique : véritable institution à La Réunion[140], cette radio « *est entièrement pensée pour faciliter la prise de parole des auditeurs* » [Simonin et Wolff 2010]. Les appels en direct des auditeurs représentent par exemple 52% de la durée d'antenne le 6 avril entre 13h et 20h, lors d'une des phases de gestion les plus critiques de l'éruption. Ce système est à la fois propice à la diffusion de rumeurs, et problématique pour les gestionnaires, notamment scientifiques, car il encourage leur sollicitation excessive[141] pour confirmer, infirmer, ou expliquer les événements décrits par les auditeurs. Dès le début de l'éruption, la radio a d'ailleurs a mis en place une ligne spéciale volcan prioritaire.

- **Réponses des populations touristiques et résidentes**

Dès l'annonce de l'éruption, les Réunionnais affluent massivement pour profiter du spectacle. Sur site, une minorité de spectateurs (5 à 10%) essaie de franchir les barrages. Une majorité, en revanche, commente négativement le fait que des autorisés puissent s'approcher davantage (« si ça n'est pas dangereux pour les uns, pourquoi le serait-ce pour les autres ? »). Certains, en avril 2007, appellent même sur les forums de discussion sur internet à boycotter l'achat des photos et ouvrages réalisés grâce à ces autorisations passe-droit. Au sommet, en l'absence de surveillance du site, on observe au fil des mois une banalisation totale de la transgression de l'interdiction d'accès.

Les problématiques qui se posent sont très différentes pour les populations résidentes. Inquiets de ne pouvoir préserver leurs biens, leur quiétude, et la possibilité d'évacuer dans les temps, les habitants du Tremblet sont dans l'ensemble[142] contre l'afflux de visiteurs dans le village. A partir du deuxième jour d'éruption, certaines personnes commencent à quitter le Tremblet, emportant leurs biens de valeur (patrimoine familial, stocks d'artisanat représentant jusqu'à un an de travail). Le 6 avril, la Pointe du Tremblet ne compte plus que la moitié de sa population. La principale raison invoquée par ceux qui décident de rester est la protection des maisons, liée au souvenir des cambriolages survenus pendant l'évacuation de 1986.

En dehors de ces évacuations préventives, et d'une assurance habitation pour seulement trois familles sur treize, les populations sont démunies de tout moyen de protection. En cours d'éruption, au plus fort des épisodes de pollution atmosphérique, elles n'ont à leur disposition que des masques de bricolage anti-poussière, totalement inefficaces contre les gaz.

Nerveux, certains habitants alimentent des rumeurs de sortie hors-Enclos en interprétant mal les aléas (incendies dans le rempart, fontaines de lave dans l'Enclos). Un habitant s'improvise expert en volcanologie et grand reporter, s'exprimant quotidiennement sur les ondes de Radio Freedom.

L'éruption entraîne une exacerbation des difficultés quotidiennes des habitants du Tremblet (isolement, accès aléatoire à l'eau courante) en même temps qu'une médiatisation inhabituelle. Dès lors, la crise devient un espace de revendication pour les habitants qui y trouvent une occasion unique de se faire

[139] Le directeur de l'OVPF prend même la peine d'effectuer un démenti dans le communiqué de l'observatoire du 16 avril : « *Pour information, et suite à l'intervention d'un « scientifique » sur un plateau télévisé : le Piton de la Fournaise n'est pas un volcan gris, mais bien un volcan rouge ou point chaud* ».

[140] Part d'audience de 40% en semaine, largement devant la radio de service public RFO (13 %) et NRJ (10,9%), selon une enquête Médiamétrie portant sur la période de janvier à juin 2009.

[141] De façon marginale, nous avons par ailleurs noté une déontologie journalistique contestable de la part des envoyés spéciaux de Radio Freedom, prenant de court les scientifiques présents sur le terrain en établissant, dans l'émulation du moment, des passages « forcés » en direct.

[142] A l'exception de ceux qui peuvent en tirer un profit direct, comme le restaurateur du Tremblet.

entendre. La stratégie s'avère payante puisque les collectivités s'engagent sur la réfection du réseau d'adduction.

Des tensions surviennent autour de la distribution des aides. Certains habitants dénoncent les réponses clientélistes de la mairie. Ceux qui sont assurés, en mesure d'être indemnisés en cas de déclaration CATNAT, dénoncent le fait de ne pas pouvoir bénéficier du fonds de secours, et demandent à toucher l'équivalent de ce qui est prévu pour les non-assurés. Enfin, les habitants du Tremblet situés entre le rond-point Citrons-Galets et Takamaka dénoncent la scission du village en deux, les aides apportées par les réseaux de solidarité pendant l'éruption étant (en toute logique) prioritairement destinées aux habitants de la Pointe. Ces derniers s'organisent en Collectif des Sinistrés du Tremblet pour demander aux collectivités le versement d'aides anticipées. Autre sujet polémique, celui de l'origine des réserves d'eau distribuées aux habitants : elles viennent d'une société d'embouteillage de l'Ouest alors qu'il en existe une sur le territoire de la commune de Saint-Philippe, fait relevé et peu apprécié des bénéficiaires des aides. Enfin, les élus profitent eux aussi de l'espace de revendications ouvert pour faire passer des messages : en cours d'éruption, la Région laisse ainsi entendre que la solidarité du Conseil Général, auquel siège le maire de Saint-Philippe, pourrait s'exprimer de manière plus marquée.

Parmi les élus, justement, seule la Région propose d'apporter une réponse durable prenant en compte les besoins des populations locales au long terme, en soumettant l'idée que les agriculteurs de Saint-Philippe pourraient partir à Lanzarote, aux Canaries, étudier la possibilité de faire du maraîchage sur coulée de lave. On leur propose également de s'inspirer de l'expérience menée en Auvergne pour l'exploitation des matières volcaniques comme matériau isolant.

Les habitants tentent eux-mêmes de trouver des solutions pour faire de cette éruption une opportunité en développant des stratégies d'accès aux ressources :

- développement de lieux de restauration (dont un s'est pérennisé depuis) ;
- développement d'une activité illégale de guide touristique, en aidant les touristes à passer les barrages contre rémunération pendant l'éruption, en leur faisant découvrir les coulées et le Piton Tremblet depuis la fin de celle-ci ;
- revendications pour un développement pérenne des commodités du village.

- **Synthèse des réponses**

On constate que les réponses apportées par les autorités et les populations en avril 2007 sont essentiellement réactives ou curatives (Tableau 23) : presque aucune mesure préventive n'est envisagée (pas de volonté politique de renforcer les réseaux de surveillance malgré les demandes des scientifiques, pas d'assurance habitation…). Par ailleurs, ces réponses dépassent rarement le court terme : après l'éruption, le Tremblet retombe dans l'oubli. Alors que les esprits y sont encore très marqués, la presse ne célèbre pas les cinq ans de l'éruption, bien que les 35 ans de 1977 aient été fêtés quelques jours plus tôt.

Il conviendrait évidemment de mettre en regard l'analyse faite des événements dans ce chapitre avec les éclairages éventuels qui pourraient être apportés si un jour les archives de l'événement étaient rendues publiques.

*Tableau 23 - Synthèse des principales réponses des institutions et populations observées lors de l'éruption d'avril 2007*

Impact positif / adapté au long terme | Impact discutable / à efficacité variable au long terme | Impact négatif / inadapté au long terme

(1) Mesures préventives (2) Mesures réactives (3) Mesures curatives

| | Description des réponses | Temporalité (1) | (2) | (3) | Echelle de décision | Impact de la mesure | Adapté au long terme |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Scientifiques | Ajout d'une station sismique à Saint-Philippe | | | | Equipe de l'OVPF | Amélioration de la capacité de surveillance | oui |
| | Anticipation des développements de l'éruption | | | | | Amélioration des capacités de gestion des autorités | |
| | Anticipation des rumeurs | | | | | | |
| | Mesures ponctuelles de suivi de la qualité de l'air | | | | Institutionnelle | Aucun impact | non |
| | Communication en temps réel par SMS | | | | Institutionnelle | Amélioration des capacités de gestion des autorités | oui |
| | Présence quasi permanente sur site | | | | Institutionnelle | Confiance gagnée auprès des populations | non |
| Autorités | Mise en place et évolutions rapides du dispositif opérationnel | | | | Institutionnelle | Diminution de la vulnérabilité humaine / Mal accepté par les populations | oui |
| | Délivrance d'autorisations d'accès | | | | Institutionnelle | Accès aux ressources facilité mais polémique | oui |
| | Evacuation du Tremblet | | | | Petit groupe | Polémique | non |
| Médias | Relégation régulière des consignes de la préfecture | | | | Institutionnelle | Information régulière des populations | oui |
| | Sollicitation excessive des scientifiques | | | | Individuelle | Augmentation de la charge de gestion | non |
| | Freedom favorisant le direct des auditeurs | | | | Institutionnelle | Véhiculation des rumeurs facilitée | non |
| Populations | Afflux massif de visiteurs sur site | | | | Individuelle | Augmentation de la vulnérabilité humaine | non |
| | Refus de se conformer aux interdictions | | | | Individuelle | | oui |
| | Port de masque de bricolage | | | | Individuelle | Diminution partielle de la vulnérabilité humaine | non |
| | Evacuation préventive | | | | Individuelle | Suppression de la vulnérabilité humaine | non |
| | Gardes nocturnes pour surveiller l'activité | | | | Individuelle | Diminution partielle de la vulnérabilité humaine | non |
| | Refus d'évacuer par peur des pillages | | | | Individuelle | Augmentation de la vulnérabilité humaine | non |
| | Crise transformée en espace de revendication | | | | Associative Individuelle | Facilitation du retour à la normale Réduction de la vulnérabilité | non |
| | Création d'un collectif de sinistrés | | | | En groupe | Facilitation du retour à la normale | non |
| | Création d'activités alternatives | | | | Individuelle | | oui |
| | Attentisme, tentatives pour gonfler les dommages | | | | Individuelle | | non |
| | Repères pris sur l'agriculture pratiquée dans d'autres îles volcaniques | | | | Institutionnelle | Accès aux ressources facilité | oui |
| | Distribution d'eau et de plantes | | | | En groupe, institutionnelle | Facilitation du retour à la normale | non |
| | Demande d'arrêté CATNAT | | | | Communale | | non |

### ❖ *Synthèse des apports de la crise d'avril 2007 et des besoins actuels pour la gestion des crises éruptives*

Le Tableau 24 synthétise les principaux points d'achoppement mis en évidence par le RETEX d'avril 2007 puis met en évidence s'ils sont communs à l'éruption de 1986. Le choix d'une comparaison entre les éruptions de 2007 et 1986 est déterminé par trois facteurs :

- les deux éruptions sont intervenues sur la même portion du territoire de Saint-Philippe, et sont, comme nous l'avons précédemment décrit, comparables au plan volcanologique ;
- elles interviennent à vingt ans d'intervalle, ce qui permet une comparaison distanciée ;

- enfin l'éruption de 1986 est la seule dont la gestion a été analysée en détails par [Bertile 1987].

L'évolution des facteurs de défaillance jusqu'en septembre 2012 est ensuite appréciée et résumée à l'aide de signes arithmétiques (+/-/=). Une évolution positive ne signifie pas pour autant une résolution des problèmes ni l'existence de capacités de gestion optimisées. Un code couleur a donc été ajouté à la colonne « Evolution 2007-2012 » pour apprécier la faculté de chaque facteur, en septembre 2012, à peser dans le développement d'une situation de crise en cas de nouvelle éruption volcanique. Un potentiel faible signifie qu'il y a très peu de chances pour que le facteur concerné joue un rôle dans le développement d'une telle situation ; un potentiel maximal signifie que toutes les conditions sont réunies pour qu'il y participe activement.

*Tableau 24 - Synthèse des principaux facteurs de défaillance mis en évidence par le RETEX de l'éruption d'avril 2007 au Piton de la Fournaise*

**Comparaison avec la crise volcanique de 1986 & évolution de mai 2007 à septembre 2012**

Non valable à cette date | **X** Facteur commun | **?** Absence de données
**+** Amélioration | **-** Dégradation | **=** Situation inchangée

**Potentiel crisogène de chaque facteur en décembre 2012**

Maximal | Fort
Modéré | Faible

| | Facteurs de défaillance dans la gestion de crise relevés par acteurs en avril 2007 | Valable en 1986 | Evolution 2007-2012 |
|---|---|---|---|
| Scientifiques | Difficultés à détecter les signaux sismiques hors-Enclos | x | + |
| | Manque de personnel pour assurer une gestion de crise > 2 semaines | x | = |
| | Manque de formation de certains membres ayant une incidence sur la gestion | | = |
| | Communication interne (intra OVPF et inter OVPF-IPGP) limitée | ? | + |
| | Réseau de surveillance de la pollution atmosphérique en temps réel limité | x | + |
| | Absence d'étude sur les incidences sanitaires des pollutions liées au volcan | x | + |
| Autorités préfectorales et communales | Incapacité à écouter les scientifiques (décisions sans concertation) | | ? |
| | Prise de décision en dehors des procédures du PSS | / | ? |
| | Absence d'anticipation des situations de crise | | + |
| | Usage excessif du principe de précaution | x | + |
| | Mauvaise interprétation des aléas sur site | x | / |
| | Connaissance limitée du territoire sur lequel se produit l'événement | x | = |
| | Communication interne et externe limitée / défaillante | ? | ? |
| | Prise en considération limitée des besoins des populations (absence de CUMP) | | + |
| | Moyens d'évacuation mal positionnés, arrivés trop tard | | / |
| | Absence de RETEX institutionnel | / | / |
| | Autorités communales en marge des processus de gestion | | = |
| | Absence de PCS | / | = |
| Médias | Système médiatique favorisant la diffusion de rumeurs en direct | x | = |
| | Système médiatique accordant du crédit à des experts autoproclamés | ? | = |
| | Sollicitation excessive des scientifiques pendant les épisodes éruptifs | ? | = |
| Populations | Foule de visiteurs se heurtant aux interdictions d'accès polémiques | x | = |
| | Populations en manque d'information, ne sachant pas comment réagir | x | = |
| | Refus d'évacuer par peur des cambriolages | ? | = |
| | Moyens inadaptés de protection contre la pollution d'origine volcanique | / | = |
| | Pas d'assurance habitation | x | = |
| | Tensions autour des aides apportées pendant et après la crise | x | / |

- **Des défaillances déjà observées en 1986**

On retrouve, en 2007, l'ensemble des paramètres défaillants cités par Bertile [1987] : difficultés à détecter les signaux sismiques hors-Enclos, mauvaise interprétation du chemin pris par les coulées, présence d'une foule de visiteurs se heurtant aux interdictions d'accès polémiques, et tensions autour des aides apportées pendant et après la crise. En tout, 52% des 27 facteurs de défaillance observés en 2007 avaient déjà posé problème en 1986, bilan peu élogieux en deux décennies de progrès potentiel, et qui semble indiquer que les enseignements tirés de l'expérience de 1986 ont été limités. En l'absence de RETEX sur l'éruption de 2007, doit-on s'attendre à la répétition des mêmes problèmes en 2028 ? La résolution ou non de ces défaillances de 2007 à 2012 constitue un premier élément de réponse.

- **Les avancées depuis mai 2007**

De 2007 à 2011, on note une résolution, au moins partielle, de 32% des facteurs de défaillance observés en 2007. Aucune amélioration n'est intervenue dans 52% des cas, et point positif, aucun facteur ne s'est dégradé (Tableau 24).

Evolution des capacités scientifiques

Depuis 2007, l'OVPF s'est doté d'un appareil permettant d'analyser la teneur en $SO_2$ de l'air par spectrométrie d'absorption optique différentielle (DOAS). Son réseau sismique a également été étoffé. Certains projets ont fait l'objet d'une forte médiatisation, en 2009 notamment[143], permettant de présenter en détails le travail des volcanologues et sismologues de la Plaine des Cafres. Le personnel de l'OVPF note par ailleurs une amélioration de la communication interne, avec l'instauration de réunions d'équipe régulières en cas de crise, auxquelles participe l'ensemble des personnels, techniciens compris. A l'IPGP, la non pérennisation du poste de chargé de communication pour les observatoires, qui intervenait en mission d'appui à l'OVPF, sera certainement préjudiciable lorsqu'il s'agira de gérer des crises liées à des éruptions plus violentes (La Réunion est en ce sens moins concernée que les Antilles). Cela souligne la trop faible importance accordée à la question de la gestion de crise au sein de l'institut. La « Task Force » créée en 2009 est portée par la bonne volonté des chercheurs impliqués, sans qu'un poste spécifique ne soit attribué à son fonctionnement. Par ailleurs, hors crise, des efforts de communication sont encore à produire, notamment pour doter l'OVPF d'un site internet plus fonctionnel.

Le réseau de l'ORA a été étoffé de deux stations fixes dédiées spécifiquement aux observations des émanations volcaniques : une station mesurant le $SO_2$, l'$O_3$ et les PM10 à l'école de Bourg Murat depuis octobre 2008, et une station mesurant le $SO_2$, les PM10 et PM2,5 depuis décembre 2010 à Grand Coude, dans les Hauts de Saint-Jospeh. L'ORA a, par ailleurs, été intégré au Comité Technique Risques de La Réunion, a développé des collaborations avec des chercheurs de l'Université de La Réunion pour la modélisation des panaches volcaniques, et dispose depuis 2012 d'un site internet rénové beaucoup plus lisible.

Evolutions politiques et réglementaires

Le PSS[144] a à nouveau été modifié en 2009 pour prendre en compte l'effondrement du Dolomieu survenu en avril 2007. En phase d'alerte 2 (cf. Annexe 17), on distingue désormais les éruptions qui se produisent dans le Dolomieu (alerte 2-1) de celles qui se produisent dans les parties hautes de l'Enclos et du Grand Brûlé (alerte 2-2), auparavant regroupées sous une même entité. On parle par ailleurs désormais

[143] Projet UNDERVOLC, destiné à améliorer la détection des éruptions de la Fournaise en utilisant la technique de bruit de fond sismique.

[144] L'arrêté n° 747 du 11 mars 2009 notifie ces changements et continue à employer le terme PSS plutôt que celui de Plan Orsec Volcan.

d'« éruption probable ou imminente » en phase d'alerte 1, pour signifier que la mise en alerte n'est pas nécessairement suivie d'une éruption. Ce changement permet de mieux intégrer la notion d'incertitude scientifique. Seule ombre au tableau de cette évolution : elle a été décidée sans franche concertation avec l'OVPF.

Contrairement à celle qui était en place depuis 2006, l'équipe préfectorale arrivée en janvier 2010 s'est montrée plus sensible à la question de l'accès au volcan. La Fournaise a désormais été considérée comme un espace de montagne comme un autre. Nous reproduisons en Annexe 18 un article du JIR du 5 avril 2012 qui expose les conceptions portées par cette nouvelle équipe. Le dernier changement de préfet, intervenu en août 2012, permettra de confirmer cette tendance du libre accès au volcan, ou de l'infirmer, en fonction des nouvelles sensibilités dirigeantes.

Des arrêtés relatifs « *à la procédure d'information et d'alerte du public, et de mesures d'urgence, en cas d'épisode de pollution atmosphérique* » ont été promulgués en 2010 puis 2011 pour fixer les seuils d'information et d'alerte (Annexe 16). Ils ne sont pas liés à l'éruption de 2007 mais à l'élaboration d'une circulaire ministérielle relative à l'information du public sur les particules en suspension dans l'air ambiant en octobre 2007. Ils découlent ainsi encore d'une réflexion sur les pollutions d'origine humaine, avec pour corolaire le devoir de les faire cesser à la source. Aucune réflexion de fond ne semble avoir été engagée pour déterminer les actions à entreprendre en cas de pollution majeure liée au volcan.

Evolution de la capacité de réponse des populations

En 2008, 16 des 117 personnes enquêtées (E-RUN-4) sont des habitants du Tremblet et de Takamaka. Malgré leur vécu déjà riche de plusieurs éruptions[145], quinze d'entre elles déclarent ne pas savoir quoi faire en cas d'éruption et déplorent un manque d'information officielle sur les comportements à adopter. Ils ne sont donc *a priori* pas plus en capacité de réagir qu'en avril 2007.

Début 2012, une habitante déclarait avoir encore ses valises prêtes en permanence pour pouvoir réagir plus rapidement en cas de nouvelle éruption. Aucune autre mesure préventive ne semble avoir été adoptée depuis l'éruption. Au cours des entretiens réalisés après l'éruption (E-RUN-5), nous n'avons pas relevé d'habitant s'étant nouvellement assuré, malgré la procédure CATNAT qui a prouvé l'utilité du système assurantiel face aux risques volcaniques. La possibilité du recours au fonds de secours est peut-être dissuasive à cet égard.

La création du Parc National de La Réunion en 2007 a donné un espoir d'évolution sur l'accompagnement du public en cas de crise, même si son directeur affirmait en 2007 que « *le volcan n'est pas l'un des enjeux principaux du Parc* » (G. Levieux, com. pers.). Les agents du Parc pourraient assurer un rôle pédagogique auprès des visiteurs lors des éruptions, comme cela a été testé sur la plateforme d'observation en 2010.

### ❖ *Vers une meilleure gouvernance de la gestion des crises volcaniques à La Réunion : recommandations aux autorités*

Afin d'encourager la mise en place de réflexions et éviter que les dysfonctionnements soulignés ne se réitèrent lors de futurs événements (volcaniques ou non), un certain nombre de recommandations peuvent être soumises aux gestionnaires. Pour certaines, elles l'ont déjà été au cours de nos travaux, pendant lesquels nous avons régulièrement rendu compte de nos analyses aux acteurs concernés par les défaillances détectées (ONF, EMZPCOI, Parc, IPGP).

[145] Parmi les 16 personnes, 7 déclarent avoir vécu personnellement la coulée de 1986 et 15 celle de 2007.

- **Améliorations de la communication envisageables**

Une demande orale d'intégration de l'OVPF à SYNERGI a été formulée en 2010 auprès de l'EMZPCOI, acceptée sur le principe, mais non suivie d'effets. L'OVPF pourrait renouveler cette demande ou la préfecture proposer à l'OVPF son intégration dans le dispositif. Un accès au serveur de l'OVPF paraît par ailleurs indispensable au COD et dans les PC de crise. Des réunions en visioconférence pourraient par ailleurs éviter aux acteurs de terrain de l'Est et des Plaines de se déplacer à Saint-Denis pendant les crises.

La population du Tremblet a exprimé à de multiples reprises le sentiment d'être abandonnée. Une solution en cas de crise volcanique impliquant l'isolement des villages limitrophes de l'Enclos serait qu'un responsable de communication soit désigné au PCC pour venir faire un à deux rapports à heure fixe au sein des communautés.

L'enquête « Paré pas Paré » (E-RUN-7) a montré que 63% de la population plébiscite des consignes et conseils en cas de crise (essentiellement via les médias). Cette information est également nécessaire sur les sites éruptifs pour expliquer correctement les changements des conditions d'accès à l'Enclos, souvent incompris des visiteurs.

Il serait judicieux d'envisager une formation à la communication de crise, interne comme externe, et pour l'ensemble des acteurs.

- **Avancées attendues dans la politique de gestion des événements**

Il est en premier lieu impératif que la préfecture tienne compte de l'avis des scientifiques, notamment pour empêcher l'afflux d'un public nombreux sur site dans le cas particulier d'une éruption hors-Enclos redoutée.

Une responsabilisation des randonneurs avec un rétablissement du libre accès aux sites éruptifs serait souhaitable. Pour des raisons de sécurité, l'approche des coulées pourrait se faire de manière contingentée et encadrée par les agents du Parc ou des guides indépendants agréés. Comme cela est envisagé pour les professionnels de l'image, il est nécessaire de considérer la question de l'accès aux ressources pour les guides travaillant au volcan quand des limites d'accès sont imposées.

Même en l'absence de PPR, les communes, notamment Saint-Philippe, gagneraient à se doter d'un PCS.

Enfin, il paraît important que les autorités et collectivités investissent dans le financement de stations de surveillance de la qualité de l'air pour renforcer le réseau de l'ORA à Saint-Philippe, Sainte-Rose et à la Plaine-des-Palmistes.

- **Evolutions réglementaires souhaitables**

Une actualisation du PSS est nécessaire. Il est déjà prévu d'intégrer des scenarii d'éruption explosive dans la prochaine version, sur la base des résultats obtenus dans le cadre d'un projet en cours sur l'étude des aléas volcaniques[146]. Il serait également nécessaire d'y intégrer une réflexion sur les épisodes de pollution volcanique.

Les procédures décrites dans le PSS devraient par ailleurs être mieux connues de ceux qui font usage du plan. Cela fait partie des besoins manifestes de formation des gestionnaires. Il est également indispensable qu'ils bénéficient d'une formation minimale pour se doter de connaissances de base sur le risque volcanique.

[146] « Evaluation de l'aléa volcanique à La Réunion », financé par le Ministère de l'Ecologie, mené conjointement par le BRGM, l'OVPF et l'Université de La Réunion.

.

Il conviendrait également d'actualiser la liste des personnes autorisées à accéder aux sites, et de les intégrer à la liste de diffusion des alertes par fax ou, mieux, SMS.

Enfin, il paraît essentiel qu'un RETEX soit effectivement établi après chaque événement, comme le préconise la loi de modernisation de la sécurité civile.

Nous avons montré dans ce chapitre que La Réunion est forte d'une riche expérience, et d'instances et outils performants dans le domaine de la gestion des crises volcaniques. Notre RETEX sur l'éruption d'avril 2007 démontre que ce bagage est malheureusement insuffisant pour gérer la survenue d'une éruption de façon optimale. Jugées officiellement satisfaisantes par les autorités, les modalités de gestion de cette éruption ont été mal acceptées par les populations (résidentes comme touristiques). A La Réunion, la gestion des éruptions est avant tout une gestion des flux de visiteurs, et le PSS explicite la nécessité de laisser la population accéder à « son » volcan autant que possible. Les gestionnaires ne peuvent donc pas se satisfaire de la seule mise en sécurité des populations, ils doivent intégrer une réflexion « sociale » aux solutions opérationnelles qu'ils développent. Le RETEX d'avril 2007 a également dévoilé des capacités d'anticipation, d'interprétation et d'action limitées dans certains domaines. Cela ne doit bien évidemment pas occulter le travail rigoureux de nombreux acteurs au sein de l'ensemble des organismes cités. Nos conclusions n'ont pas vocation à chercher les responsables des dysfonctionnements observés, mais à recenser les problèmes rencontrés pour en rechercher les fondements et proposer des solutions d'amélioration de la gestion des crises volcaniques sur l'île.

# Chapitre V - Les balbutiements de la gestion des crises volcaniques en Grande Comore

Le Karthala par Lionel, en CE2 à Moroni, mai 2007.

# Chapitre V - Les balbutiements de la gestion des crises volcaniques en Grande Comore

## Exemples de l'éruption de 2006 et des lahars post-éruptifs depuis 2005



Alors que la fréquence éruptive du Karthala était de 5.3 à 8.0 ans en moyenne depuis le début du XIX$^{ème}$ siècle, ce début de XXI$^{ème}$ siècle a été marqué par un net accroissement d'activité avec la succession de quatre éruptions se produisant à environ six mois d'intervalle les unes des autres : avril 2005, novembre 2005, mai 2006 et janvier 2007. Elles ont confronté les populations de Grande Comore à des aléas inconnus et/ou oubliés et permis une prise de conscience généralisée de la menace constituée par le volcan. Dans ces conditions, on peut postuler que la Grande Comore est aujourd'hui prête à faire face efficacement à la survenue de crises volcaniques.

Ce cinquième chapitre consiste justement en une analyse des capacités de gestion de crise de la Grande Comore face aux éruptions volcaniques en 2011. Comme le chapitre précédent, il repose en premier lieu sur une analyse globale des crises volcaniques récentes (depuis 1977) et de la façon dont elles ont influencé la mise en place des capacités actuelles de réponse. Viennent ensuite deux RETEX portant sur l'éruption du Karthala de mai 2006 et sur les lahars post éruptifs survenus depuis les éruptions de 2005 à Vouvouni, village du Sud-Ouest de l'île. Ces RETEX s'appuient sur les observations directement opérées par l'auteure au cours des crises décrites et des entretiens et questionnaires réalisés pendant et après les événements. Ils permettent de pointer de nombreux dysfonctionnements dans la gestion des crises et d'énoncer ce qui demande à être amélioré pour affronter sans encombre la prochaine éruption du Karthala.

## 1. NAISSANCE ET EVOLUTION DE LA GESTION DES CRISES VOLCANIQUES EN GRANDE COMORE

### 1.1. LES LEÇONS TIREES DE L'ACTIVITE ERUPTIVE DU KARTHALA DE 1977 A 2005

Quelques événements éruptifs récents ont constitué une expérience significative en matière de gestion des crises volcaniques et contribué à façonner les politiques actuelles de gestion des risques et crises aux Comores. Nous présenterons les éruptions de 1977, 1991 et 2005, et l'alerte de 2003. Ces événements ne constituent pas le cœur de notre étude, notre but n'est donc pas de les présenter de manière exhaustive sous forme de RETEX élaborés. Les documents disponibles pour les comprendre sont d'ailleurs peu nombreux, et essentiellement axés sur les aspects volcanologiques. La vocation de leur analyse est de mettre en évidence les problèmes qu'ils ont posés et les incidences qu'ils ont eues sur les politiques de gestion, pour, *in fine*, dresser un état des lieux des capacités de gestion à l'aube des deux événements que nous analysons en détails dans ce chapitre : les lahars post-éruptifs à partir de 2005 et l'éruption de mai 2006.

#### 1.1.1. 1977 : une destruction des villages de Singani et Hetsa encore dans toutes les mémoires

Cette éruption a été décrite en détails par Krafft [1982]. Alors que le volcan n'est pas entré en éruption depuis 1972, de petits séismes sont ressentis dans le sud de la Grande Comore le soir du 4 avril 1977. Vers 10h le lendemain, un essaim sismique qui dure une heure fissure des citernes d'eau à Singani et M'Djoyezi dans le Sud-Ouest de l'île, soit une intensité 5 sur l'échelle MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik). Une heure et demi plus tard, les villageois entendent un bruit d'explosion et voient s'élever un panache de

cendres de 1000 m de haut : une fissure de 200 m vient de s'ouvrir à 360 m d'altitude, à 1 km seulement à l'est de M'Djoyezin (Figure 72). La coulée de lave qui s'en échappe se divise en deux. En fin de matinée, le bras occidental, large de 40 m, atteint la route et détruit l'Est de Singani (2000 habitants). Une demi-heure plus tard, le bras oriental, large de 10 m, envahit l'ouest de Hetsa (600 habitants). Une quarantaine de maisons sont détruites en moins d'une heure. Les deux bras se rejoignent à l'aval et ne cessent de s'épaissir et de s'élargir, continuant à générer des dégâts, tandis que l'activité décline progressivement. Lorsque l'activité s'arrête le 10 avril, le village est recouvert d'environ 10 cm de dépôts pyroclastiques (soit $6x10^4$ $m^3$ de retombées). La coulée de lave, large de 400 m dans sa partie supérieure et de 1500 m en bord de mer, épaisse de 3 à 9 m, a parcouru 2800 m jusqu'à l'océan où elle a progressé de 150 m. Ses $7x10^6$ $m^3$ recouvrent $18x10^5$ $m^2$ de territoire (Figure 72). Elle a couvert 240 m de route et détruit 280 maisons (dont 50 incendiées en bordure de l'épanchement) à Singani, 326 m de route et 13 maisons à Hetsa. Les autorités, ne disposant d'aucune structure de réponse aux catastrophes, lancent un appel à la solidarité nationale pour faire réaliser les évacuations par des civils. L'appel est entendu : 4000 personnes menacées sont évacuées à temps vers Moroni (SEAN 02:03 et 02:04 in Global Volcanism Program [2005]) et relogées grâce à l'organisation des comités régionaux et villageois. La localisation de l'éruption, accessible par la route, provoque parallèlement un afflux de visiteurs curieux de découvrir le « spectacle » ou crédules quant aux vertus thérapeutiques supposées du contact avec les éléments volcaniques [Krafft 1983]. La route coupée, seul axe reliant Moroni au Sud de l'île de ce côté du massif, est rapidement réhabilitée par l'Etat. Le gouvernement révolutionnaire initie également la reconstruction de maisons sur un site nouveau avant d'être renversé en 1978. Le projet est alors abandonné et les sinistrés, attachés à leur village, se réimplantent définitivement sur les emplacements des anciennes maisons [Chouaybou 2010].

*Figure 72 - Extension de la coulée de 1977 ; en rosé aire recouverte de cendres (selon [Krafft 1982] ; sur fonds Google Earth, 2011) et vue aérienne oblique sur le bras Est de la coulée (source [Krafft et de Saint-Ours 1977] ; orientation indiquée sur le fonds Google Earth)*

Bien qu'elle n'ait occasionné que des pertes matérielles, l'éruption de 1977 a été la plus destructrice des éruptions historiques du Karthala et a profondément marqué la conscience collective. Sa date anniversaire est commémorée annuellement le 5 avril, aussi bien en Grande Comore que dans les communautés expatriées, au travers de débats, tournois sportifs, manifestations traditionnelles. Quand on leur demande « Quelles éruptions du Karthala connaissez-vous ? », 86% des répondants citent celle de 1977 (Figure 73). Notons que les répondants, âgés de 19 ans en moyenne, n'ont pas vécu l'éruption de 1977, et qu'ils ont été enquêtés seulement quelques jours après l'éruption de mai 2006, or, aucune autre éruption ne recueille

plus de 25% de réponses positives [Morin et Lavigne 2009].

En avril 1977, le village de Sainte-Rose, sur les flancs du Piton de la Fournaise, est également partiellement englouti par une coulée de lave. La simultanéité des deux événements pousse depuis la plupart des Comoriens à croire qu'une communication souterraine existe entre la Grande Comore et La Réunion.

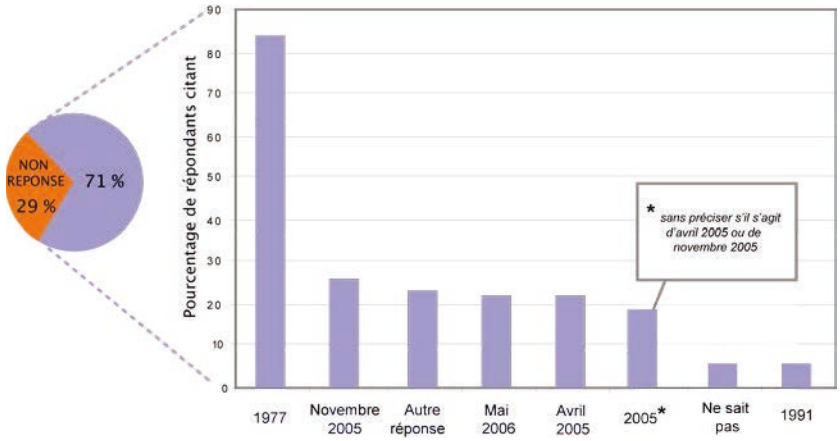



*Figure 73 - Connaissance de l'histoire éruptive du Karthala : réponses à la question 'Quelles éruptions du Karthala connaissez-vous?' (E-GC1b, 2006, n=135)*

L'éruption de 1977 a par ailleurs marqué une forte prise de conscience en termes de gestion du risque. En conclusion de son article, Krafft [1982] énonce : « *L'éruption de 1977 prouve que le Karthala est un volcan dangereux qui mériterait une étude volcanologique détaillée. Il serait urgent de dresser une carte des risques volcaniques de la Grande Comore, de prévoir des plans d'évacuation pour les villes et les villages de l'île et d'y installer au moins trois stations sismologiques. En effet, chacune des éruptions de ce siècle a été précédée de quelques heures par des séismes ressentis dans la zone de la future activité, laissant éventuellement aux populations le temps d'évacuer sans panique la région menacée.* ». Ces recommandations sont exaucées avec la mise en place quelques années après de l'Observatoire Volcanologique du Karthala et de ses réseaux de déformation et de surveillance sismologique (4 stations dont 3 sommitales).

### 1.1.2. 1991, 2003 et 2005 : la familiarisation des Comoriens avec les crises sismiques et le volcanisme explosif[147]

Le 11 juillet 1991, une éruption phréatique entraîne des retombées de blocs et de cendres dans la zone sommitale uniquement. Seuls événements notables : une sismicité précursive intense (4000 séismes par jour du 4 au 10 juillet) et une odeur de gaz sulfuré perçue par la population après l'éruption [Bachèlery *et al.* 1995] qui provoquent l'exode vers Moroni de 1 000 personnes [Bachèlery et Coudray 1993]. Marqués par leur fuite désordonnée émaillée d'un accident grave, les habitants de Nkourani Sima demandent dès le lendemain aux autorités la construction d'une route goudronnée [Chouaybou 2010]. Sa réalisation contribue à un relatif désenclavement du Mbadjini. L'éruption de 1991 est importante en terme de protection civile car c'est la première à être instrumentée par l'OVK grâce aux réseaux de déformation et sismique mis en place respectivement en 1986 et 1988. Elle ouvre la voie à une meilleure compréhension du fonctionnement du Karthala alors qu'aucun système d'alerte ou d'intervention n'existe encore. Chouaybou [2010] note d'ailleurs le désarroi des populations déplacées, déçues par les conditions d'accueil et retournées chez

[147] Certains passages de cette sous-partie sont extraits de [Bachèlery et Morin 2007].

elles sans aucune certitude de danger écarté.

En 1992, un rapport sur la sécurité régionale dans l'Océan Indien [COI 1992] souligne la nécessité qu'il y a à mettre en place une réglementation, une planification, une dotation en matériel et en personnel de protection civile, et le renforcement de la surveillance du Karthala.

Le volcan se calme alors jusqu'en 2000. En milieu d'année 2003, l'OVK enregistre une forte augmentation de l'activité sismique, à l'origine d'une fausse alerte relayée par les médias, sans conséquences pour les populations. Elle accélère en revanche la prise de conscience de la nécessité qu'il y a à doter le pays d'instances de protection civile opérationnelles, élément déjà souligné dans sa thèse par Nassor [2001]. Parallèlement, l'ISDR et OCHA, dans le cadre de la Stratégie Internationale pour la Prévention des Catastrophes et en vue de la Conférence de Hyogo, mettent en place des plates-formes nationales de préparation à l'urgence en Afrique de l'Est et dans l'Océan Indien. Les ateliers qu'induit leur création sont l'occasion de réfléchir à la mise en place d'un Plan National pour la Préparation et la Réponse aux Urgences (PNPRU) à partir de décembre 2003. Adopté en novembre 2004 [Union des Comores 2004a], il vise à « *assurer une préparation et une réponse face aux urgences qui soient coordonnées et efficaces, mettant en œuvre tous les moyens disponibles au sein des acteurs étatiques et non étatiques, en respect des principes humanitaires internationaux* ». Ce plan comprend une annexe de 37 pages, le *Plan Karthala*, dédié spécifiquement à la gestion des crises volcaniques. Les autorités nationales mettent par ailleurs en place une Direction Nationale de la Protection Civile (DNPC), chargée de l'évaluation des besoins et de la gestion de crise en cas d'événement grave sous la direction du Préfet de la zone concernée, et sous tutelle du Ministère de la Défense de l'Union.

Alors que les efforts de planification sont engagés, l'activité sismique se poursuit à un rythme variable jusqu'en février 2005. En mars, en moyenne une quarantaine de séismes journaliers est enregistrée. L'OVK publie, entre le 8 mars et le 4 avril 2005, sept bulletins d'alerte prévenant de la possibilité d'une éruption à court terme.

Le PNPRU n'a pas encore été testé lorsque survient l'éruption phréatomagmatique du 16 avril 2005. Le 16 et le 17 des retombées de cendres accompagnées d'une forte odeur de soufre sur le flanc est amènent les habitants effrayés à fuir leur village. Les éclairs et grondements accompagnant les panaches lourdement chargés en cendres contribuent fortement à inspirer la crainte. Les autorités évacuent 10 000 personnes du flanc est [Smithsonian National Museum of Natural History 2005b]. Les premières coulées de boue sont également signalées dans les villages côtiers du Bambao dans l'ouest de l'île. La cendre retombe ensuite dans l'après-midi du 17 avril sur les parties ouest et nord de l'île, incluant Moroni et l'aéroport de Hahaya. Le trafic aérien est interrompu du 17 au 19. L'activité explosive décline pour laisser place à un lac de lave dans le Chahale, actif jusqu'au 19. Vers le 8 mai un nouveau lac d'eau verdâtre s'est reformé dans le Chahale. Cette première éruption n'a duré que trois jours, mais les retombées de cendres et coulées de boue qui l'ont accompagnée ont marqué les Comoriens. Si seulement quelques millimètres de cendres sont tombés sur les zones côtières, le paysage dans la caldeira est complètement transformé. Plus de deux mètres de retombées de cendres, lapilli, bombes et blocs sont présents sur les bords du Chahale. Une large partie des zones hautes des flancs du Karthala est couverte de plusieurs dizaines de centimètres de dépôts de cendres fines. Ces dépôts, remaniés par les pluies, alimenteront des coulées de boues pendant plusieurs mois. Selon OCHA-GVA [2005a, b], 40 000 personnes ont été affectées par cet événement.

*Figure 74 - Retombées et nettoyage des cendres en novembre 2005 à Moroni (clichés H. Soule, 2005)*

Après une période assez calme sismiquement de mai à août 2005, une crise sismique est enregistrée les 25 et 26 août, puis la sismicité reprend franchement à la fin du mois d'octobre. De nouveau l'OVK publie plusieurs bulletins d'activité signalant ce regain d'activité et recommande de ne pas entreprendre l'ascension du Karthala. Après environ 1h20 de crise sismique, une nouvelle éruption débute le 24 novembre à 17h20. Un PC opérationnel est mis en place à la gendarmerie de Moroni sous l'autorité du chef du Centre des Opérations de Secours et de Protection Civile (COSEP - qui n'a pas encore officiellement été créé à cette date -) selon les modalités décrites dans le PNPRU. Les gouvernements de l'Union et de l'Ile, le CRCo, la PIROI, le PNUD, l'UNICEF, ECHO, et l'Ambassade de France, apportent leur concours à la gestion des événements [PIROI 2005a]. Comme pour l'éruption d'avril, un panache chargé de cendres s'étend au-dessus du Karthala. Des images MODIS[148] permettront d'estimer son altitude à 11,6 km avec une extension latérale E-W jusqu'à 280 km [Smithsonian National Museum of Natural History 2005a]. Dès son début, l'éruption est observable de Moroni. Un grand panache sombre parcouru de grondements et d'éclairs s'étale au-dessus du volcan. D'importantes retombées de cendres affectent l'île, d'abord à l'est et au sud-est puis, à partir du 25 novembre à 5h00, sur le sud-ouest ainsi que sur Moroni et sa région. Les retombées de cendres sont très intenses (Figure 74 A et Figure 75), masquant largement le rayonnement solaire et obligeant les habitants à rester chez eux ou à porter des masques anti-poussière. Les cendres polluent les réserves d'eau, causant de graves problèmes d'approvisionnement. A plusieurs reprises les autorités et partenaires internationaux appellent les habitants à ne pas consommer l'eau des citernes [Chouaybou 2010]. Les populations s'inquiètent davantage des effets sur les animaux et l'agriculture et d'éventuels problèmes de santé liés à l'inhalation des cendres. Après l'accalmie les médecins constateront d'ailleurs une hausse des consultations pour pathologies respiratoires [Chouaybou 2010][149]. Alors que l'activité économique de l'île est déjà paralysée par les retombées de cendres, des coulées hyperconcentrées se forment, en particulier sur les flancs ouest et est. Bien que les évacuations soient rendues difficiles, environ 2000 personnes fuient spontanément les villages occidentaux du Bambao pour se réfugier vers des zones moins exposées dans le nord de l'île, en particulier Mitsamiouli, Mboude et Oichili. Lors de l'évacuation un bébé décède par asphyxie. Cette phase paroxysmique cesse dans la journée du vendredi 25 novembre et le lendemain un lac de lave actif est observé dans le Chahale. Le 30 novembre, 80% de sa surface est figée, et le 5 décembre seuls deux petits cônes émettent des projections. L'éruption s'arrête le 8 décembre. Les trois quarts du territoire insulaire ont été couverts de retombées de cendres [Smithsonian National Museum of Natural History 2005a], affectant 245 000 personnes dans 76

[148] MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer, NASA.

[149] En 2006 le médecin chef des urgences de l'hôpital de Moroni affirmait au contraire au cours d'un entretien qu'il n'avait pas noté d'augmentation des visites pour pathologies respiratoires, cutanées ou oculaires.

villages, dont 175 000 privées d'eau potable [OCHA-GVA 2005c]. La PIROI intervient du 5 au 9 décembre pour nettoyer dans l'urgence deux citernes par village [PIROI 2005b]. Huit semaines de nettoyage sont nécessaires pour évacuer les cendres des toits, rues et citernes (Figure 74 B). Six ans plus tard, les lahars affectent encore des centaines de maisons et des milliers d'habitants, principalement dans les villages côtiers du Sud-Ouest de l'île, de M'De à Mitsoudje. Cette éruption place les Comores au sixième rang mondial en total de personnes affectées par un volcan depuis 1900 [CRED 2010]. Elle conduit par ailleurs à la réalisation d'une étude qui montre que 100 000 personnes vivant sur les flancs du Karthala sont vulnérables à l'insécurité alimentaire imputable aux effets des éruptions volcaniques [WFP et UE 2006].

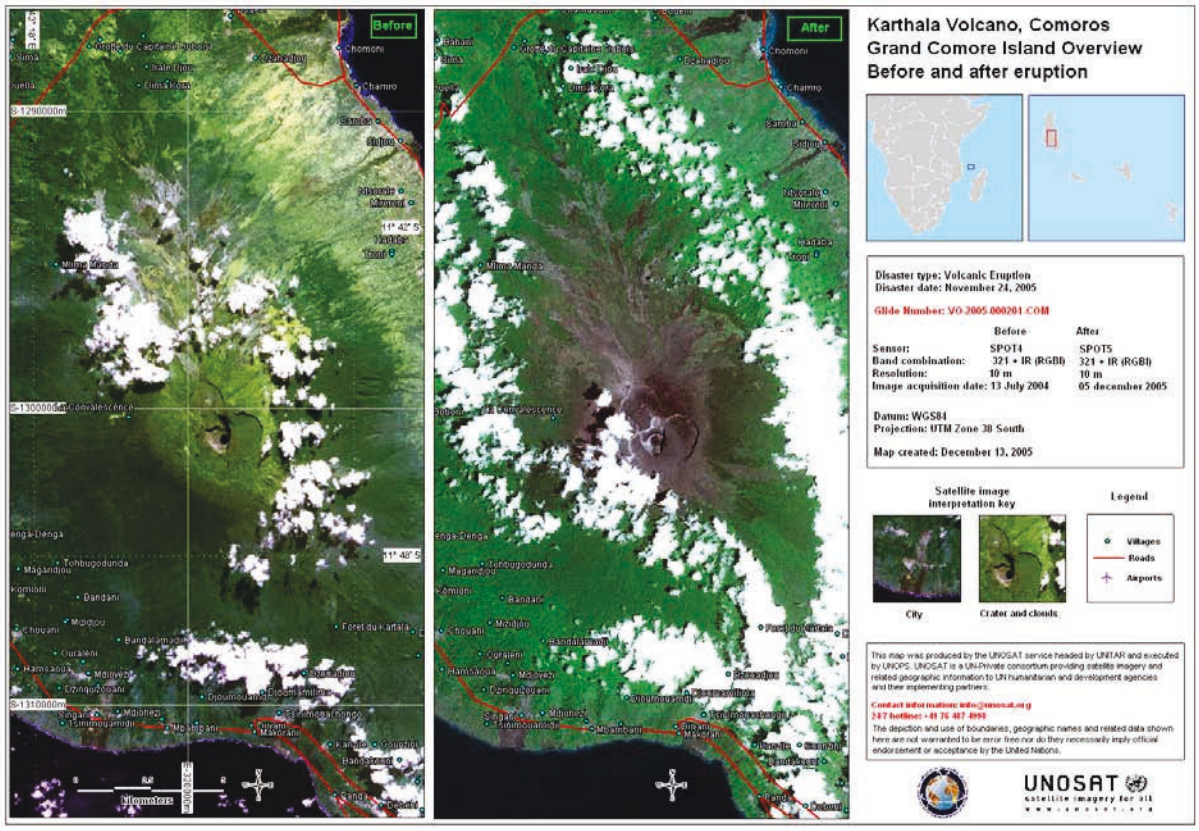



*Figure 75 - Analyse d'images pré et post désastre par l'UNOSAT suite aux éruptions de 2005*

La gestion des éruptions de 2005 a suscité de vives critiques de la presse et de la population, exprimant un sentiment d'abandon part de l'Etat autant que d'impuissance face aux éruptions. Les responsables des institutions en charge de la gestion des crises pointent eux-mêmes les difficultés rencontrées, contestant pour certains l'efficacité du PNPRU jugé trop théorique - qui plus est au regard du manque total de moyens de terrain -. Même s'il n'a pas été respecté à la lettre lors des éruptions de 2005, le PNPRU a permis une meilleure coordination des intervenants (E. Bonamy, responsable de la Croix Rouge Française à Moroni jusqu'en 2006, com. pers.), marquant un pas important dans la gouvernance des crises sur l'île.

La DNPC n'ayant montré aucune capacité de réaction en novembre 2005, la création d'un Centre des Opérations de Secours et de Protection Civile (COSEP) est entérinée le 6 mai 2006 (décret 06-051/PR). Le centre est placé sous le contrôle du Chef d'Etat-Major de l'Armée Nationale de Développement d'Union des Comores (AND). Son directeur est l'un des officiers d'active de l'AND, nommé par décret du Président de l'Union. En 2006 ce centre reste virtuel : il ne sera physiquement implanté qu'en janvier 2007 à l'ancien aéroport de Moroni.

Dès mai 2006, le volcan entre à nouveau en éruption. Purement magmatique et confinée au sommet,

l'éruption suscite pourtant une vive inquiétude dans les rangs des autorités comme des populations. Sa gestion permet de pointer un certain nombre de dysfonctionnements et pistes de progrès possibles. Nous ne le développerons pas plus ici, l'analyse de cet événement faisant l'objet d'un retour d'expérience détaillé dans la suite de ce chapitre. Auparavant il est nécessaire de présenter les rouages de la gestion des crises volcaniques à la veille de cette éruption.

## 1.2. MODALITES DE LA GESTION DE CRISE A L'AUBE DE L'ERUPTION DE 2006

### 1.2.1. Surveillance et prévision des crises volcaniques

L'OVK, implanté depuis 1988 à Moroni au CNDRS (Centre National de Documentation et de Recherche Scientifique des Comores), est appuyé scientifiquement et techniquement par l'OVPF, le LGSR et l'IPGP. Il est financé en quasi intégralité depuis ses débuts par la Coopération française via l'Ambassade de France aux Comores. Depuis 2005, les Nations Unies ont également apporté leur contribution, accélérant le développement des réseaux de surveillance. Ceux-ci sont actuellement constitués de 8 stations sismiques disposées autour de la caldeira sommitale et sur les flancs du volcan, dont les signaux sont télétransmis à l'OVK et enregistrés numériquement. Deux stations inclinométriques et une station de prise de vues photographiques, orientée sur le Chahale, complètent le dispositif de surveillance [Bachèlery et Morin 2007], de même que des stations de mesure du $CO_2$, de polarisation spontanée et de surveillance vidéo depuis 2008 (Figure 76). La maintenance des installations était, depuis la création de l'observatoire, assurée par un chercheur comorien du CNDRS employé à mi-temps et un coopérant français électronicien, ponctuellement appuyés par des personnels techniques de l'IPGP et de l'OVPF. Depuis 2010, un électronicien et un géophysicien comoriens, dont les salaires sont désormais financés par les Nations Unies, ont remplacé le coopérant français. Les moyens en personnel sont toutefois insuffisants pour maintenir le réseau en état, d'autant que celui-ci subit de nombreuses dégradations. Les éruptions sous instrumentation ont par ailleurs été rares, offrant peu d'occasions de comprendre le fonctionnement du volcan. La première éruption annoncée et suivie par l'OVK, en 1991, a malgré tout permis à l'observatoire de jouer pleinement son rôle d'information et de conseil auprès des autorités et populations de l'île. Les éruptions de 2005 à 2007, dont on a par ailleurs décrit l'ampleur, ont, depuis, définitivement conféré un rôle majeur à l'OVK dans la société comorienne [Bachèlery et Morin 2007]. Ses capacités de prévision restent sans commune mesure avec celles de l'OVPF, apte à fournir des prévisions plus précises du fait d'un réseau de surveillance, d'une disponibilité en ressources humaines et d'une expérience plus étoffés. Un bulletin mensuel est publié par l'OVK pour synthétiser l'activité et informer les partenaires scientifiques et financiers. Pour éviter de multiplier les figures, la Figure 76 représente le réseau actuel : en mai 2006 les stations $CO_2$, Polarisation Spontanée, sismiques SSK et NTC, et la caméra n'étaient pas encore disponibles.

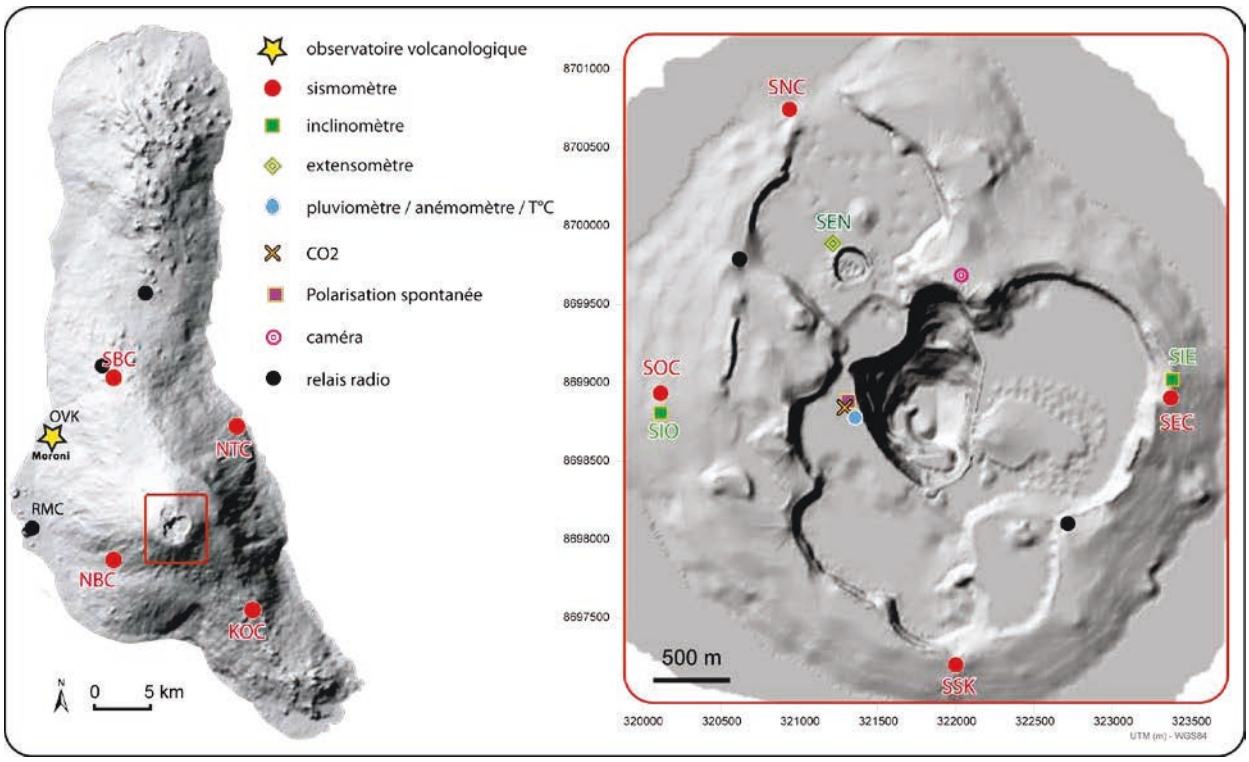



*Figure 76 - Réseau de surveillance du Karthala en 2011 (source : points GPS fournis par l'OVK)*

### 1.2.2. Principaux rouages de la gestion opérationnelle des crises

#### ❖ *La planification de crise*

La Grande Comore s'est dotée depuis 2004 d'outils équivalents à ceux qui sont disponibles en France: le PNPRU décrit les modalités de gestion des crises pour tout type d'événement [Union des Comores 2004a]. Il correspond au Plan ORSEC. Son annexe, le Plan Karthala, dédié spécifiquement à la gestion des crises volcaniques, est l'équivalent d'un PSS. Il comporte également une annexe de 15 pages sur le risque cyclonique. La planification n'existe qu'à l'échelon national, les villages ne sont pas dotés de plan de gestion : il n'existe aucun équivalent des PCS ou des PPMS en Grande Comore.

#### ❖ *Les acteurs de la gestion des crises*

La planification repose sur de nombreux acteurs (Tableau 18). Il faut noter que quelques acteurs oubliés par la planification jouent un rôle dans les processus de gestion ou de préparation aux crises (désignés comme « acteurs informels » dans le tableau). Bien qu'il n'en soit pas fait mention dans les documents officiels, la gestion des crises relève dans les faits d'un double commandement institutionnel et coutumier. Les chefs de village (notables) et les chefs religieux dictent en effet aux populations les comportements à adopter en toutes circonstances. Les autorités légales reconnaissent la légitimité de ces intervenants, sur lesquels elles s'appuient d'ailleurs ouvertement pour mener leurs actions. Dans l'attente d'éventuels moyens déployés par les autorités, la gestion est improvisée en vertu du bon sens commun selon les codes sociaux préétablis (priorité donnée à la famille, puis aux voisins ; importance de la parole des commissions de notables, etc.). Comme il en sera discuté ultérieurement, cela tend à prouver que la gestion est trop « top-down » et qu'il conviendrait d'intégrer les habitudes des populations dans les procédures de gestion pour s'assurer de leur efficacité. La réforme des institutions engagée en 2011, qui instaure les communes en Grande Comore, ne devrait pas modifier les prérogatives actuelles. En effet, les maires resteront dans la sphère de décision du pouvoir coutumier dans la mesure où ils doivent être nommés par les chefs de village.

*Tableau 25 - Synthèse des principaux acteurs impliqués dans la gestion des crises volcaniques en Grande Comore (les acteurs informels sont indiqués sur fonds bleu)*

| Acteur | | Attribution |
|---|---|---|
| Scientifique | Observatoire Volcanologique du Karthala (OVK) | Surveillance de l'activité ; recherche scientifique |
| | Centre National de la Recherche Scientifique (CNDRS) | Accueil physique de l'OVK dans ses locaux ; en charge de la transmission des alertes aux autorités |
| | OVPF-LGSR-IPGP | Appui scientifique, technique et financier à l'OVK pendant et en dehors des crises |
| | Direction Générale de l'Aviation Civile et de la Météorologie | Renseignements auprès du VAAC de Toulouse en cas d'alerte volcanique |
| | VAAC | Surveillance des cendres pour la sécurité aérienne |
| | Direction des Statistiques du Commissariat au Plan | Evaluation de la vulnérabilité humaine |
| Etatique | Ministère de la Défense et de la Sécurité Intérieure de l'Union | Activation de la cellule de crise en cas d'événement le nécessitant |
| | Direction Nationale de la Protection Civile (DNPC) | Mobilisation et coordination des organismes en charge de la sécurité civile en temps de crise ; projet de renforcement des capacités de gestion hors crises |
| | Centre National des Opérations de Secours et de Protection Civile (COSEP) | Gestion de crise, mise en alerte, évacuations, information préventive |
| | Armée Nationale de Développement (AND) | Appuis ponctuels à l'OVK pour le transport de matériel au sommet du Karthala, implantation d'une station dans le camp militaire |
| | Police | Appui théorique à l'AND (dans les faits aucun moyen) |
| | Société Nationale des Postes et Télécommunications | Maintien du réseau de télécommunications |
| | Mouftora | Transmission des messages aux populations |
| ONG | CRCo | Secours et mise en sécurité des populations en période de crise ; sensibilisation des populations ; nettoyage des citernes en cas de retombées de cendres et approvisionnement en eau ; réseau de 1600 volontaires |
| | CRF / PIROI / IFRC | Appui en hommes et matériel du CRCo en cas de dépassement prévisible de ses capacités, équipes d'intervention rapide (EDIR) spécialisées dans les opérations d'urgence |
| Coopération internationale | Système des Nations-Unies | Appui à la préparation du PNPRU, analyse des risques de catastrophe (OCHA) ; appui financier et en personnel à l'OVK ; colloque sur le Karthala (PNUD) ; assainissement des citernes en cas de retombées de cendres (UNICEF) |
| | Ambassade de France | Financement de l'OVK depuis 1988, mise à disposition d'un Volontaire International jusqu'en 2009 |
| | Union Européenne | Financement d'activités d'aide à la reconstruction post-catastrophe et à la prévention (fonds ECHO-DIPECHO) |
| Société civile | Médias | Communication de crise et préventive |
| | Guides | Accompagnement des scientifiques sur le volcan |
| | Jeune Chambre Internationale | Développement et sécurisation d'un sentier d'accès au volcan |
| | Imams | Communication de crise ; rôle de relais du mouftorat |
| | Chefs de village | Pouvoir décisionnel au sein des villages, conseils aux populations, parole difficilement contestable |
| | Villageois relais du CRCo | Stockage de matériel de premiers secours ; relais de communication |
| | Population | Adoption de comportements adéquats pendant les crises |

### ❖ *La transmission des alertes*

En cas de signe d'activité, l'OVK diffuse l'information et propose le déclenchement du niveau d'alerte jugé adéquat. L'alerte se diffuse ensuite théoriquement selon les modalités décrites en Figure 77. Différents niveaux d'alerte ont été définis dans le PNPRU. Des mesures opérationnelles d'urgence et des consignes aux populations leur sont associées. Le tout est décrit dans le Tableau 26.

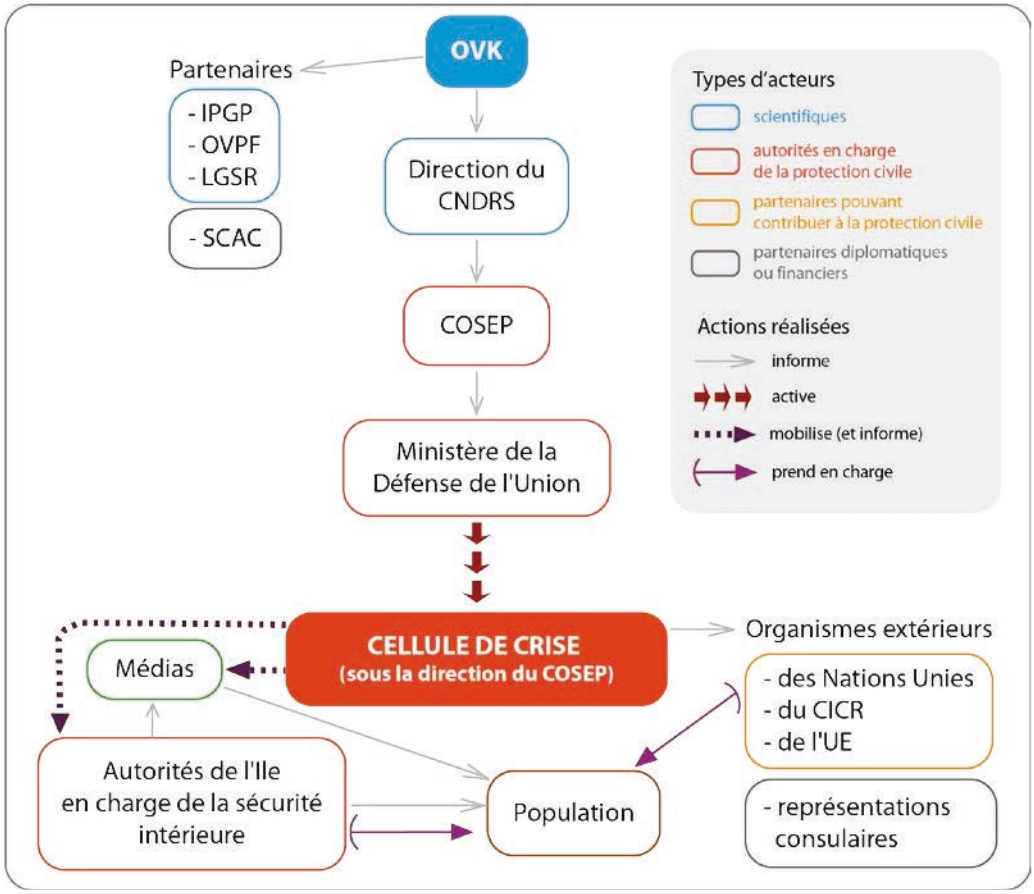



*Figure 77 - Schéma de diffusion des alertes en cas d'éruption volcanique (modifié d'après Union des Comores, 2007)*

| Niveau d'alerte | Phénomènes associés | Actions recommandées pour les secours | Actions recommandées pour les populations |
|---|---|---|---|
| **VERT** | ➢ Rien à signaler<br>➢ Le volcan est en repos : la sismicité est normale | ✓ Développement de plans de préparation<br>✓ Renforcement du dispositif de surveillance<br>✓ Education de la population | ✓ Se tenir informé<br>✓ Mémoriser la signalisation (voies d'évacuation, lieu de réunion, refuges…)<br>✓ Encourager la délocalisation d'éléments vulnérables situés dans des secteurs à haut risque |
| **JAUNE** | ➢ Augmentation significative de la sismicité, de l'activité fumerolienne ou remontée du niveau d'eau du lac du Chahale (si présent).<br>➢ Apparition de déformations | ✓ Renforcement du dispositif de surveillance<br>✓ Communication accrue entre les autorités responsables et les scientifiques | |
| **ORANGE** | ➢ Trémor de grande amplitude<br>➢ Accélération de l'activité sismique<br>➢ Déformation importante et rapide<br>➢ Evénement volcano-tectonique plus important | ✓ Convocation du comité de gestion des crises volcaniques<br>✓ Annonce au public par l'intermédiaire des médias<br>✓ Interdiction de montée au sommet du Karthala<br>✓ Avertissement aux systèmes de navigation aérienne<br>✓ Préparation du personnel de protection civile<br>✓ Mobilisation des moyens logistiques pour l'évacuation des populations<br>✓ Mise en œuvre de mesures spécifiques dans les régions les plus vulnérables | ✓ Suivre de manière attentive l'information officielle<br>✓ Suivre les instructions des autorités<br>✓ S'exercer au déplacement vers des lieux sûrs<br>✓ Rester en alerte et se préparer à une évacuation possible, en emportant le minimum vital. |
| **ROUGE**<br>**1er type** | ➢ Développement d'une activité magmatique, phréatique, ou phréatomagmatique, localisée au sommet<br>➢ Importante activité sismique et volcano-tectonique (M>4 -5) | ✓ Evacuation sélective de secteurs concernés selon le développement de l'activité éruptive<br>✓ Mise en pratique de mesures préventives contre l'émanation des gaz, les chutes de cendre, de blocs et l'obscurité associée pouvant affecter les zones habitées<br>✓ Renforcement du dispositif de communication vers la population<br>✓ Alerte aux systèmes de navigation aérienne | ✓ Suivre les instructions des autorités<br>✓ Se tenir informé sur l'évolution de la situation<br>✓ La population située en zone de risque doit se diriger en lieu sûr ou se rendre aux points de réunion afin d'être acheminée vers les refuges<br>✓ La population urbaine doit garder son calme, rester chez elle ou sur son lieu de travail, et s'informer |
| **2ème type** | ➢ Ouverture d'une faille éruptive signalée sur les flancs du volcan avec production de magma<br>➢ Développement d'une activité éruptive explosive en zone littorale | ✓ Evacuation sélective des secteurs plus étendus concernés selon le développement de l'activité éruptive<br>✓ Etablir un périmètre de sécurité et réglementer la circulation<br>✓ Alerte aux systèmes de navigation aérienne | |

*Tableau 26 - Niveaux d'alerte en cas d'éruption volcanique en Grande Comore et actions associées (Plan National de Préparation et de Réponse à l'Urgence)*

### ❖ *Principes généraux d'organisation du commandement et des secours*

En cas d'événement majeur, une cellule de crise se réunit sous la direction des autorités de l'Union (Ministère de la Défense et de la Sécurité Territoriale) qui s'appuient sur les autorités de Grande Comore pour gérer la situation (Figure 77). Le commandement est alors organisé selon le schéma décrit en Figure 78.

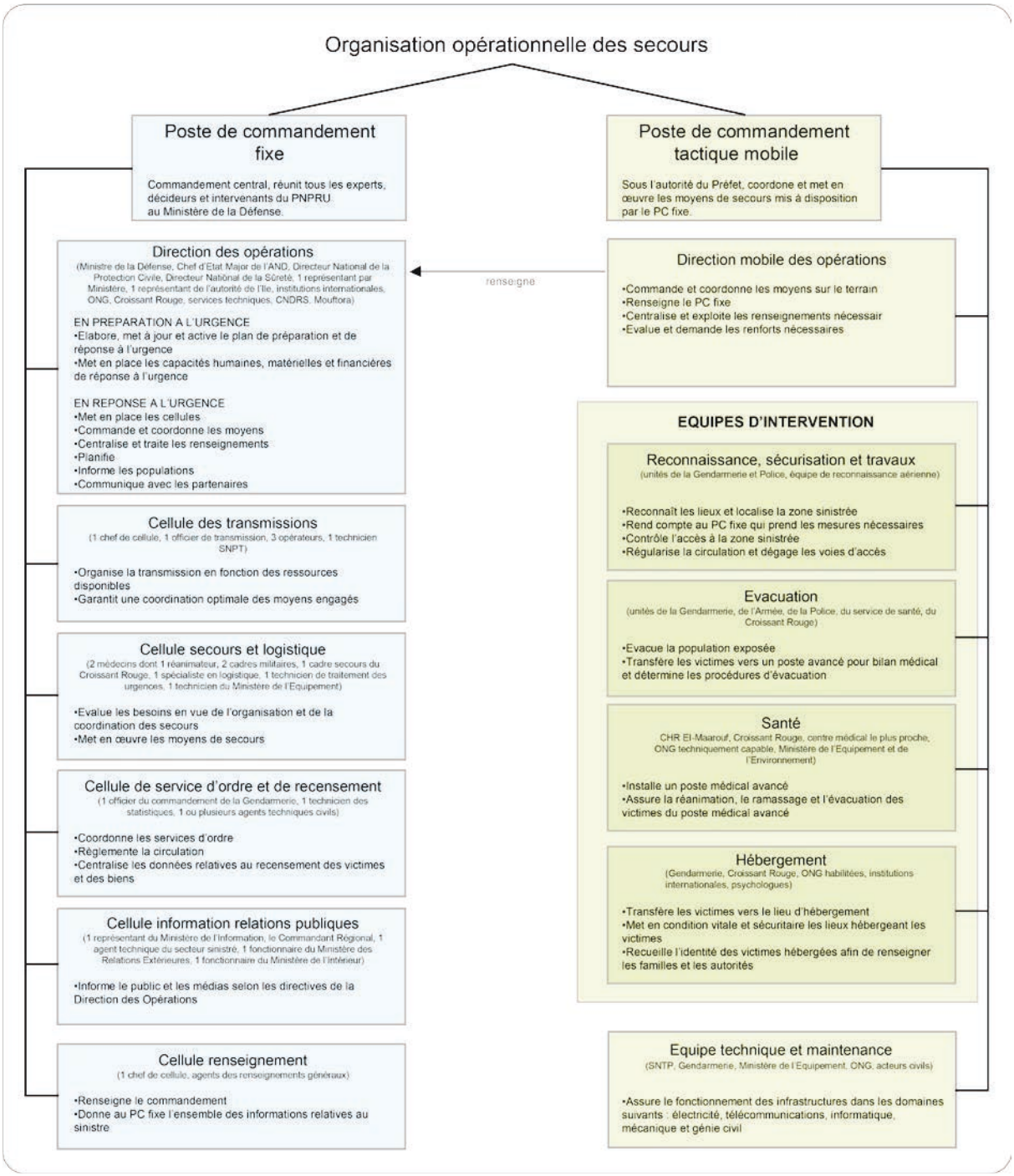



*Figure 78 - Organisation opérationnelle des secours décrite dans le Plan National de Préparation et de Réponse à l'Urgence*

### ❖ *L'après-crise, un domaine négligé*

Les dispositifs assurantiels, systèmes d'indemnisation et fonds de secours tels que ceux décrits à La Réunion sont inexistants en Grande Comore. La phase de post-crise est marquée par un retour à la

normale géré aux échelles familiale et communautaire, avec l'appui de programmes internationaux pour la résolution des problèmes de fonds (sécurités alimentaire et sanitaire) lorsque ceux-ci peuvent intervenir suffisamment rapidement.

Cette phase post-crise est également marquée par l'absence de réalisation de RETEX, même si depuis la création du COSEP en janvier 2007 des réflexions informelles ont été engagées sur certaines des crises vécues, notamment le crash aérien de la Yemenia en 2009.

Comme mentionné en Chapitre II, Chester [1993] considère comme « sous-développées » les réponses aux éruptions du Karthala dans les années 1970. Nous partons du postulat que les crises majeures gérées en Grande Comore dans les années 2000 ont logiquement dû faire évoluer la gestion des crises dans le *bon sens*, de sorte que le pays devrait être prêt à faire face efficacement à l'éruption qui survient en mai 2006.



## 2. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LA CRISE ERUPTIVE DE 2006

Le choix d'un retour d'expérience détaillé s'est porté sur l'éruption de 2006 pour trois raisons principales. Premièrement, une implication directe dans la gestion de crise de cet événement nous a permis d'obtenir des détails sur le développement de la crise auxquels nous n'avons pas eu accès pour les précédentes éruptions. Deuxièmement, l'éruption de mai 2006 est restée une éruption magmatique sommitale sans menace : il est donc intéressant de comprendre d'un point de vue sociétal en quoi ce type d'éruption a pu constituer une « crise ». Enfin, les deux éruptions de 2005 qui ont montré l'importance de se pencher sur les problèmes de réduction des risques de catastrophe auraient dû mener à des impulsions politiques et culturelles suffisantes pour conduire à une solide préparation pour empêcher les futures crises [Morin *et al.* 2009].

### 2.1. UNE ERUPTION MAGMATIQUE CONFINEE AU SOMMET

#### 2.1.1. Signes précurseurs

En mai 2006 l'OVK enregistre une activité sismique supérieure à la normale, limitée à une vingtaine de séismes par jour [OVK 2006]. Des signaux sismiques inhabituels sont enregistrés (proches des L-P mais à des fréquences de 4-5 Hz au lieu des 1 Hz des L-P classiques). Du 20 au 27 mai, une équipe travaillant au sommet sur les dépôts des éruptions de 2005 ressent de nombreux séismes. Elle entend également des déflagrations associées à l'activité sismique la plus fortement perçue, observe un regain d'activité fumerolienne sur le pourtour du fond du Chahale et note la présence de quantités d'insectes morts au sol. A partir du 26 mai au soir, une vibration continue, que le réseau sismique ne capte pas, est perceptible au sommet. La survenue d'une éruption est fortement suspectée mais ne peut être confirmée par l'OVK pour des raisons exposées ultérieurement dans ce chapitre.

Le 28 mai, une activité sismique soutenue débute à partir de 15h54 à faible profondeur sous la caldeira. A partir de 18h12 des séismes longue-période sont enregistrés, laissant place trois heures plus tard à un trémor qui marque le début de l'éruption.

#### 2.1.2. Phénoménologie éruptive

La phénoménologie de l'éruption a fait l'objet d'un rapport dans le Global Volcanism Program [Nassor *et al.* 2006].

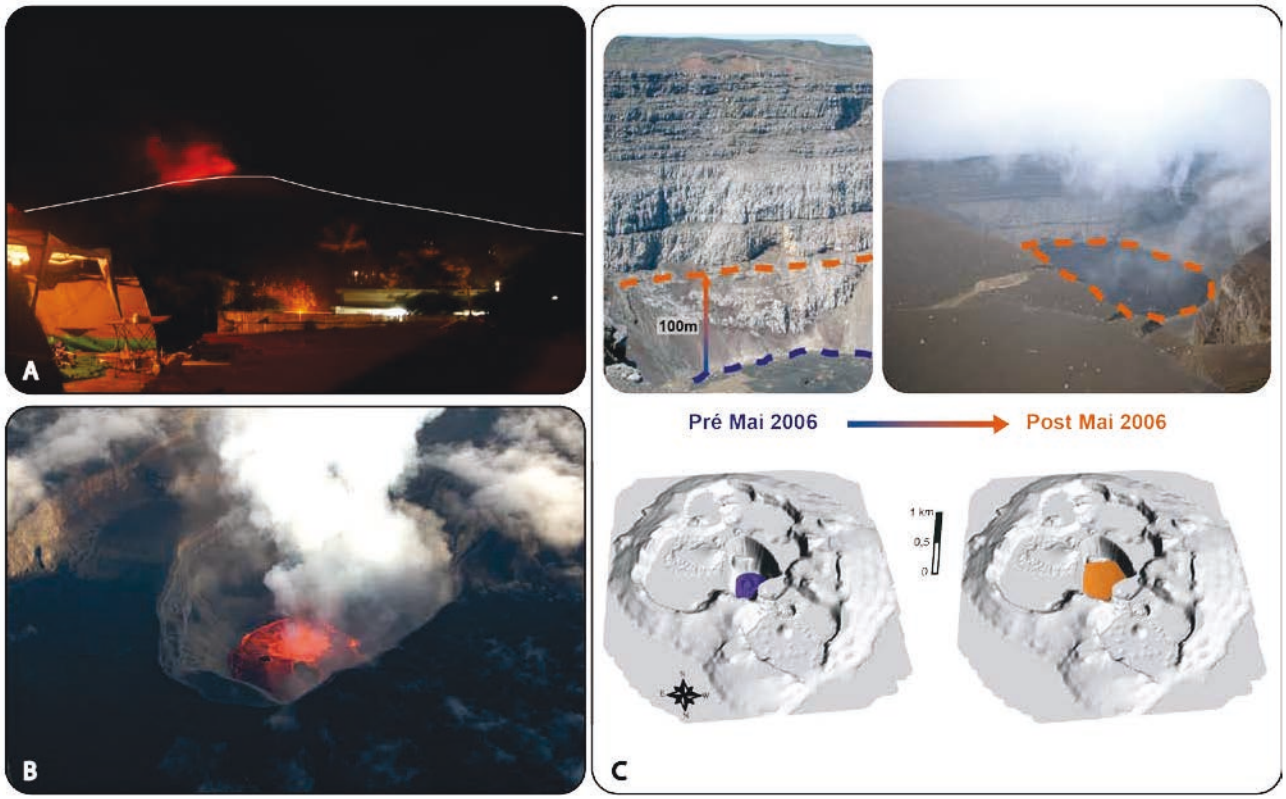



*Figure 79 - Principaux phénomènes observables au cours de l'éruption de mai 2006 (clichés AMISEC (A) ; J. Morin, 2006 (B & C) ; MNT A. Finizola (C))*

A 21h07, l'instrumentation indique le début d'un trémor. Le volcan est immédiatement surplombé d'un panache rouge, visible notamment depuis Moroni (Figure 79 A où le profil approximatif du Karthala a été tracé en blanc), voilé au cours des toutes premières secondes par un panache noir qui se dissipe très rapidement. Ce rougeoiement subsistera la nuit jusqu'à la fin de l'éruption. Il est impossible de localiser précisément la source.

Du 28 à 23h00 au 29 mai à 09h30, un panache de $SO_2$ visible sur des images Météosat s'étale sur environ 60 km en direction du Nord-Ouest [VAAC 2006] à environ 3000 m d'altitude. Le 29 mai à l'aube, un survol en avion permet de constater la présence d'un lac de lave à l'intérieur du Choungou Chahale, alimenté dans sa partie Nord-Ouest par une fontaine de lave de 30 à 50 m de haut. L'activité est strictement contrainte dans le cratère principal du Karthala (Figure 79 B).

Le 31 mai, alors que des secousses sont ressenties par les populations du Bambao et que des séismes basse fréquence (1 Hz) sont enregistrés par la station de Bahani, un nouveau survol de l'édifice permet d'écarter l'hypothèse d'une sortie de magma hors caldeira. Une dépose au sommet permet une observation rapprochée du Chahale durant une vingtaine de minutes. Le niveau du lac s'est élevé d'une centaine de mètres. Sa moitié sud est, noircie, est recouverte de blocs plurimétriques. Elle reste cependant totalement déformable, signe d'un refroidissement extrêmement superficiel : les vagues générées par l'activité de la fontaine de lave (inchangée depuis le 29 mai) se propagent distinctement sous cette croûte. L'échantillonnage de produits juvéniles supposément éjectés par les fontaines s'avère infructueux, montrant que les projections ont été limitées au Chahale.

Le 1er juin à 14h41 le trémor cesse. Un troisième survol est effectué le lendemain pour vérification visuelle des phénomènes enregistrés. La surface du lac est totalement noircie. Des émanations gazeuses se font en deux points et une lueur rouge est toujours visible à l'endroit où se trouvait la fontaine de lave. L'observation permet de confirmer l'arrêt de l'activité après quatre jours d'éruption. Les clichés pris le

02/06/06 sont comparés à ceux pris au sommet le 26/05/2006, montrant que le fond du cratère est « remonté » d'une centaine de mètres (Figure 79 C). Le volume émis lors de cette phase est ainsi estimé à environ 18 millions de $m^3$.

## 2.2. REPONSES DES ACTEURS INSTITUTIONNELS ET POPULATIONS : LES PROBLEMATIQUES SOULEVEES PAR LA CRISE ERUPTIVE DE MAI 2006

Lors de l'éruption de mai 2006, aucune « crise » au sens opérationnel n'aurait dû se déclarer, la lave étant restée captive dans le Chahale. L'analyse événementielle révèle pourtant le dépassement immédiat des capacités de réponse nationales et une série de dysfonctionnements qui indiquent un fort « potentiel crisogène ». Ces dysfonctionnements sont analysés par catégories d'acteurs.

### 2.2.1. Un observatoire volcanologique débordé par les événements

L'observatoire, acteur clef de la gestion des crises volcaniques en Grande Comore, n'a connu que quatre éruptions depuis sa création (en 1991, deux fois en 2005, et en mai 2006) et, par voie de conséquence, manque d'expérience en la matière. L'éruption de mai 2006 est par ailleurs la première éruption purement magmatique enregistrée par le réseau. Bien que l'OVK bénéficie d'un transfert de méthodologies et de compétences depuis l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise, les deux volcans ont, dans le détail, un comportement différent. Ce manque de recul ne permet pas à l'OVK de réaliser des prévisions. Il manque par ailleurs à tous points de vue de moyens. Dans ces conditions, ses rôles de surveillance et de mise en alerte des autorités ne peuvent être assumés que partiellement.

#### ❖ *Des ressources humaines et matérielles dérisoires*

En mai 2006, une équipe de l'université de La Réunion composée d'un docteur en volcanologie et de trois étudiants en master se trouve en Grande Comore, en plus du Volontaire Civil à l'Aide Technique (VCAT) de l'OVK. Aucun n'a d'expérience significative dans la gestion des crises volcaniques. Le VCAT, embauché par le Service de Coopération et d'Action Culturelle de l'Ambassade de France à Moroni, est ingénieur en électronique. Il n'a reçu qu'une semaine de formation en sismologie à l'OVPF, censée suffire à la réalisation des tâches de routine, parmi lesquelles le dépouillement du signal sismique. Son contrat se limite à un ou deux ans : le volontaire est enfin opérationnel au moment où il repart. Pendant ses vacances et au moment du changement de volontaire, le responsable comorien de l'OVK, employé à temps partiel par le CNDRS depuis 1999, assure seul les tâches liées au fonctionnement de l'OVK. Il n'est pourtant « que » spécialiste en environnement et n'a reçu aucune formation spécifique pour se charger de l'entretien du réseau. Il dispose en revanche d'une expérience riche des crises volcaniques de par son implication dans la gestion de la fausse alerte de 2003 et des éruptions de 2005. Il est le « Monsieur Volcan » de l'île, connu de tous. Personne sur l'île n'est susceptible de le remplacer s'il est indisponible au même moment que le VCAT. Un docteur en volcanologie comorien formé à La Réunion jusqu'en 2001, qui souhaitait travailler à l'OVK, en est parti en 2003 en l'absence de création de poste et de salaire. Les plans d'ajustement structurel décidés par le Banque Mondiale bloquent les embauches tandis que l'Etat comorien est dans l'incapacité de payer régulièrement ses fonctionnaires. La Faculté des Sciences de l'Université des Comores ne peut par ailleurs pas former de jeunes scientifiques pour la relève du fait des faibles moyens à sa disposition (notamment l'absence de locaux pour la faculté des sciences).

Au moment du déclenchement de l'éruption le responsable comorien de l'OVK est en déplacement à l'étranger. Les cinq personnes qui se retrouvent à la tête du volet scientifique de la gestion de crise sur le

terrain sont donc des novices. Ils travaillent dans la salle exigüe de l'OVK, équipée d'une ligne téléphonique et trois ordinateurs dont un dispose d'un accès internet (Figure 80). Les coupures de courant à répétition imposent de mettre en route un groupe électrogène pour que les instruments de surveillance fonctionnent. Le véhicule dont dispose l'OVK depuis 1991 est hors service : la pièce nécessaire à sa réparation n'est pas disponible sur l'île. Même hors crise, les deux travailleurs de l'OVK n'ont dans ces conditions pas le temps ni les moyens d'étendre leurs activités de surveillance à d'autres champs d'action alors que la population se montre particulièrement intéressée par des campagnes d'éducation. Le seul entretien du réseau de surveillance ne peut être assumé correctement en permanence.

*Figure 80- L'observatoire Volcanologique du Karthala : un espace et des moyens restreints*

### ❖ *L'incapacité à prévoir et à surveiller en temps réel l'éruption*

L'OVK se révèle dans l'incapacité de prévoir la survenue de l'éruption, de déterminer son type, et de localiser puis de suivre son évolution à l'aide du réseau de surveillance. A cette période les stations KOC, SNC, et SOC sont en panne, sur NBC seuls les séismes de forte magnitude sont enregistrés (Figure 76). Au final, une seule station sommitale (SEC) et la station de Bahani sont en fonctionnement. L'OVK n'est pas en mesure d'identifier les précurseurs de l'éruption (2.1.1). En conséquence, aucune préalerte n'est donnée. La crise sismique qui débute dans l'après-midi du 28 mai est enregistrée par le réseau, mais l'équipe redescendue du sommet, affairée à nettoyer du matériel à l'OVK, n'y prend pas garde. Aucun système d'alarme relié à un portable d'astreinte ou dans l'observatoire-même n'étant programmé pour se déclencher au-delà d'un certain seuil d'activité (comme c'est le cas à la Fournaise), il faut être en train d'observer l'écran d'ordinateur ou le tambour papier (et qu'il soit relié à une station fonctionnelle !) pour repérer une activité inhabituelle. L'éruption débute donc sans qu'aucune alerte n'ait été lancée. Le branchement de la station Bahani sur le tambour en début d'éruption facilite le suivi de l'activité (trémor et sismologie) mais aucune triangulation en vue d'une localisation de l'activité n'est possible puisque seule une station sommitale fonctionne. La lueur rouge qui couronne le sommet indique que l'activité a pris place en zone sommitale, mais il est impossible de savoir si elle est contrainte dans la caldeira et si des sorties de lave affectent d'autres zones de l'île. Ainsi, aucune information détaillée ne peut être livrée même après le début avéré de l'éruption. En cas d'ouverture dans les zones habitées, l'OVK aurait été incapable de fournir les éléments dont ont besoin les autorités comoriennes pour prendre des décisions pour la mise en sécurité des populations. Les causes de cette incapacité à décrypter précisément l'activité résident principalement dans l'état fortement dégradé du réseau de surveillance.

Seules des reconnaissances aériennes permettent une « surveillance » visuelle à partir du 29 mai. Or, les

vols sont impossibles à réaliser de nuit, de même que le 30 mai pour cause de mauvais temps et le 1er juin, jour de l'arrêt de l'éruption, en raison d'une opération de maintenance des appareils. Dans ce contexte, les observations des populations dans les différentes régions de l'île sont capitales : la population est appelée à signaler tout phénomène inhabituel. Les témoignages affluent, notamment de la région de Bahani où des séismes sont fortement ressentis. La station de Bahani capte en effet 11 signaux haute-fréquence du 29 mai au 1er juin, laissant craindre une sortie de la lave dans la zone. Des signaux de type indéterminé, non captés par les autres stations, sont enregistrés sur le tambour jusqu'au 22 juin, date à laquelle il est rebranché sur la station SEC. Sur le dépouillement informatique, on ne retrouve pas tous les signaux enregistrés sur papier car l'acquisition informatique ne peut pas fonctionner avec une seule station sommitale opérationnelle [OVK 2006].

Les dysfonctionnements ponctuels du réseau de surveillance sont attribuables à des pannes techniques diverses, à un défaut de maintenance, mais également à des dégradations volontaires répétées, commises par les populations pour des raisons économiques et idéologiques. Depuis 2000, des vols et incendies de stations sismiques et de panneaux solaires mettent à mal le réseau de surveillance que l'observatoire avait mis des années à construire, rendant toujours possible la détection d'une activité mais sans permettre de situer précisément la zone à risque. Ce réseau est remis en état grâce au SCAC en 2000 et vandalisé en 2002 : l'OVK est à nouveau *sourd*. A partir de 2003, le réseau est réhabilité, en faisant appel à l'AND pour surveiller les stations, et des actions de sensibilisation sont entreprises auprès des citoyens par bulletin radiophonique. Les actes de vandalisme se poursuivent. Les stations inclinométriques installées en 1998 sont vandalisées en 2004 : en mai 2006 elles n'ont pas été réinstallées. Paradoxalement le rôle de sécurité civile de l'observatoire est ainsi régulièrement anéanti par des gens qu'il est censé protéger... Aux pannes ponctuelles s'ajoutent des problèmes structurels, notamment l'incapacité technique à transmettre des données du flanc Est vers Moroni.

L'OVK est seulement apte à fournir trois scenarii aux autorités concernant l'évolution de l'activité en zone sommitale. L'arrêt progressif de l'activité restant contrainte dans le Chahale constitue le scenario le plus favorable. Une migration de l'activité avec sortie sur les rift-zones ou même les flancs n'est pas exclue. Enfin, le scenario le moins favorable implique une vidange brutale du lac de lave avec possibilité d'activité phréatomagmatique. L'incertitude est totale sur l'évolution de la nature et de la localisation de l'activité.

Les difficultés à assumer ses rôles de surveillance, d'alerte et de conseil scientifique sont doublées de la complexité à gérer les interactions avec des acteurs nombreux.

#### ❖ *Un observatoire volcanologique littéralement pris d'assaut*

L'OVK détient un rôle majeur dans la divulgation d'informations en temps de crise. Il est tenu de communiquer l'alerte à ses partenaires scientifiques et financiers et à la direction du CNDRS qui se met à son tour en rapport avec les autorités (Figure 77). Le personnel de l'OVK peut ensuite être contacté par les autorités qui gèrent l'information à la population et aux médias, et être amené à se déplacer en cellule de crise. Les interactions sont donc censées être limitées, pour théoriquement permettre aux scientifiques de l'OVK de se focaliser sur l'activité de surveillance volcanologique. En mai 2006, l'équipe est pourtant contrainte de gérer des échanges multiples, notamment avec les politiques, les médias et les populations qui affluent à l'observatoire et multiplient les appels téléphoniques (Figure 81).

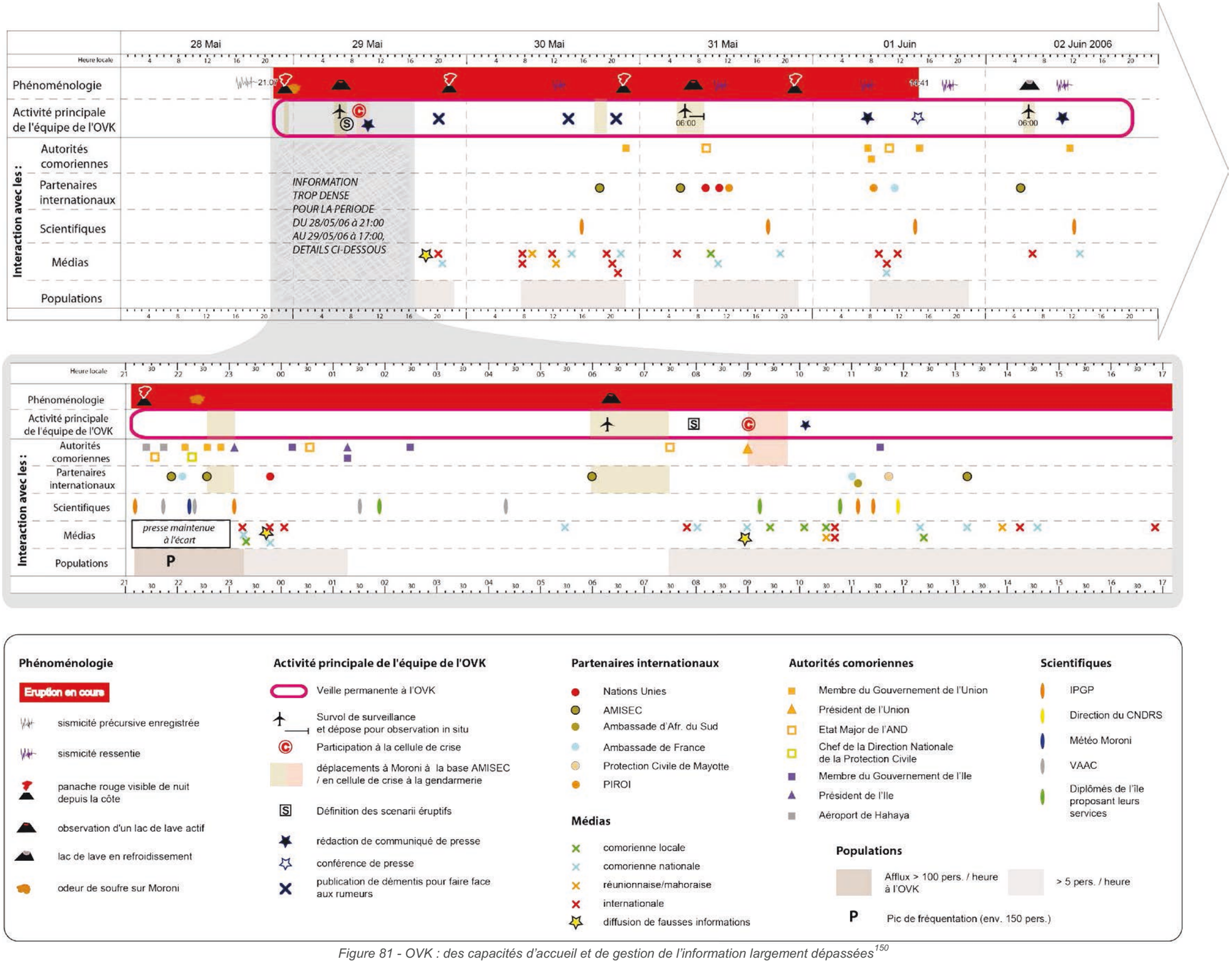



*Figure 81 - OVK : des capacités d'accueil et de gestion de l'information largement dépassées*[150]

[150] NB : ces échanges ont été répertoriés sur un registre des interventions improvisé dès le début de l'éruption. Etant donné la multiplicité des échanges entre les six personnes impliquées dans la gestion à l'OVK, nombreux sont ceux qui n'ont pu être répertoriés (évalués de 30 à 40% dans les temps forts de la gestion). Ce registre ne prend par ailleurs pas en compte les échanges avec des officiels venus s'informer à titre personnel, ni les appels constants reçus à l'OVK pour des demandes ou offres d'information de la part des populations de l'île (on évalue que ces échanges « informels » constituent un flux à peu près équivalent au flux « formel »).

Deux phases se révèlent critiques (partie basse de la frise chronologique en Figure 81) :

- de 21h10 le 28 mai à 02h00 le 29 mai, immédiatement après le début de l'éruption. L'équipe de l'OVK doit gérer 30 rencontres et interviews « officielles » et un afflux de population à l'observatoire, dans un contexte de parfaite incertitude sur la localisation de l'activité et son évolution probable. Les premières rumeurs sur les risques liés à l'éruption et sur sa localisation sont diffusées via les médias dès 23h45. Cette première phase aurait pu être bien plus complexe à gérer puisque l'éruption débute un dimanche. L'équipe réunionnaise se trouve fortuitement au CNDRS et peut « répondre » immédiatement au flux continu d'appels téléphoniques et de visiteurs à l'OVK alors qu'en cas contraire il lui aurait probablement fallu à minima un quart d'heure pour parvenir à l'OVK (à supposer d'avoir été informés immédiatement du déclenchement de l'éruption). En l'absence d'information précise à délivrer, et pour gérer les communications les plus urgentes (VAAC, IPGP, autorités comoriennes et diplomatiques), la presse est maintenue à l'écart au cours des deux premières heures de l'éruption ;
- de 09h00 à 12h30 le 29 mai, à la suite du premier survol d'observation destiné à localiser l'activité, avec à nouveau une intensification des interactions et la diffusion de fausses informations sur la nature de l'activité éruptive et ses implications dès 09h00.

### ❖ *Un « code de communication » pour faire face plus efficacement*

Durant les premières heures de l'éruption, quatre personnes joignables en permanence communiquent sans restriction, en plus du Volontaire International de l'OVK, habilité à transmettre des informations uniquement à l'Ambassade de France et à l'IPGP (Figure 82 A).

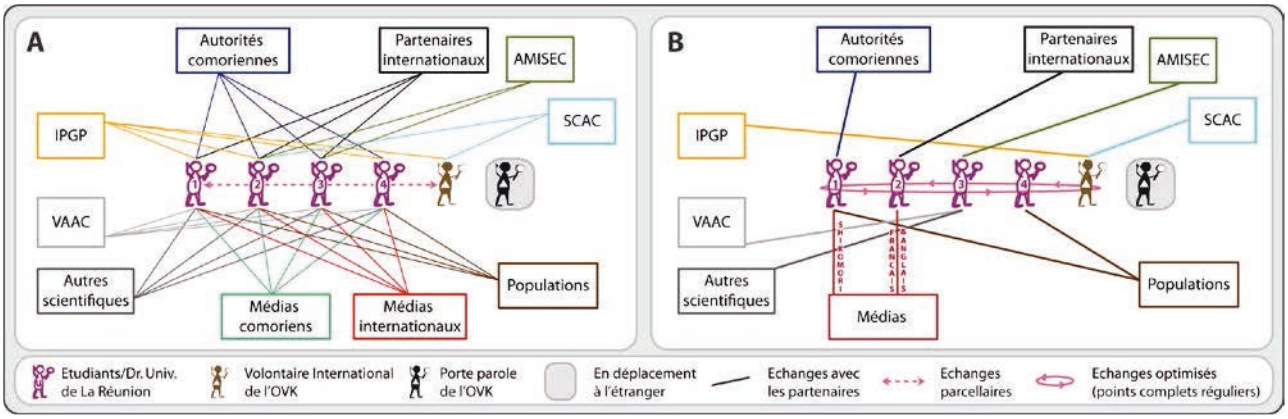



*Figure 82 - Rationalisation de la communication de crise à l'OVK à partir du 29 mai 2006. (A) Situation le 28/05/2006 au soir ; (B) Schéma mis en place le 29/05/2006 au matin*

Dans ce contexte de flux constant d'information se posent des problèmes d'harmonisation, de synchronisation et donc de cohérence des informations délivrées du fait de l'impossibilité pour les membres de l'équipe d'échanger en temps réel sur les informations recueillies et délivrées. Un schéma de communication (Figure 82 B) est donc adopté dans la matinée du 29 pour permettre aux membres de l'OVK de mieux faire face aux nombreuses sollicitations externes tout en régulant et harmonisant la diffusion des informations. A l'exception du VCAT qui ne communique qu'avec l'Ambassade, chaque membre de l'équipe se voit attribuer la gestion des relations avec deux types d'acteurs, de façon à ce que chaque acteur ait toujours affaire au même intervenant à l'OVK (Figure 82 B). Un intervenant unique est désigné pour communiquer avec les médias en shikomori, un autre pour toutes les communications médiatiques en français et anglais. Cela permet d'identifier plus précisément et rapidement les sources des

propos déformés ou rumeurs et de formuler des démentis ciblés. Dans l'après-midi du 31, les interviews sont par ailleurs autant que possible « refusées » au profit d'une convocation commune en conférence de presse le 1er juin. Les populations conservent également deux intervenants, de façon à pouvoir contenter les questions en shikomori comme en français. Ce schéma théorique de l' « intervenant unique » est dans l'ensemble parfaitement respecté, permettant un fonctionnement plus fluide de la "cellule de crise" interne à l'OVK avec un relâchement notable de la pression. Des points de situation réguliers sont alors possibles et permettent des synthèses efficaces entre membres de l'équipe. Ce code de conduite qui s'est « naturellement » imposé au bout de quelques heures gagnerait à être institué de façon pérenne à l'OVK de façon à ce que toute nouvelle équipe confrontée à une crise puisse y répondre de façon optimale dès les premières minutes. Le comité pour les protocoles de crise de IAVCEI délivre d'ailleurs des recommandations aux scientifiques amenés à gérer des crises volcaniques qui rejoignent le comportement adopté par l'équipe [Newhall *et al.* 1999].

Le déroulement des événements démontre que le dépassement des capacités de l'OVK est imputable : (1) à l'état dégradé de son réseau et son manque de moyens ; (2) au comportement des populations et acteurs partenaires de la gestion des crises, la prolifération des demandes ayant un temps menacé la capacité de réponse - déjà limitée - de l'équipe de l'OVK. Il est intéressant à ce titre de noter que, bien qu'elle ait été un acteur décisif de la gestion de crise, il a été impossible à notre équipe d'appréhender sur le vif les maillons de la chaîne de gestion et leur fonctionnement avec précision. La première impression a été celle d'un événement géré par un imbroglio inextricable d'intervenants. Cela est largement dû à l'intervention d'un grand nombre d'institutionnels, semblant pour la plupart un peu perdus quant au rôle précis qu'ils avaient à jouer dans la gestion de l'événement.

### 2.2.2. Des autorités comoriennes réactives mais désordonnées et dépourvues de moyens de gestion

*« Vous venez d'atterrir dans un désert, à vous de nous aider à comprendre »* (un représentant des Nations Unies à propos des rouages institutionnels de la gestion de la crise en mai 2006).

#### ❖ *Trois gouvernements et trois instances de protection civile pour une gestion de crise*

Les autorités réagissent rapidement après le début de l'éruption en mettant en place la cellule de crise à la gendarmerie vers 21h30. Le PNPRU définit sa composition théorique : un représentant par Ministère de l'Union impliqué (Défense, Relations extérieures, Intérieur, Transports, Equipement, Santé, Affaires Sociales, Développement Rural), un représentant unique du Gouvernement de l'Ile, du chef d'Etat-Major de l'Armée Nationale de Développement (AND), le Directeur National de la Protection Civile, le Directeur National de la Sûreté, et des représentants des partenaires scientifiques, religieux, et humanitaires locaux et internationaux, soit une vingtaine de personnes au plus, censées interagir directement en cellule de crise. Hasard du calendrier, l'activité débute le 28 mai en pleine séance d'investiture du nouveau gouvernement de l'Union des Comores, les élections présidentielles s'étant tenues la semaine précédente. Les ministres non encore totalement remerciés et leurs successeurs non encore totalement investis prennent tous le parti de venir s'enquérir de la situation directement à l'OVK. Les ministres de l'Ile font également le déplacement en nombre. La cellule de crise est en quelque sorte partiellement délocalisée à l'OVK et s'étoffe artificiellement[151] de l'ordre de 200% de participants au cours de la première nuit d'éruption. Beaucoup d'entre eux admettent venir s'informer à titre personnel de la situation, se le

[151] Dans le sens où les effectifs supplémentaires ne contribuent pas à la gestion de crise (sauf en l'entravant)

permettant du fait de leur statut (ils ne sont dans ce cas pas répertoriés dans le registre[152] qui a servi de base à la constitution de la Figure 81). A 1h15, le Président de l'Ile, déjà venu à l'OVK peu après 23h, se présente à nouveau en personne et fait mettre à disposition un téléphone portable pour s'assurer que l'équipe scientifique reste plus facilement joignable.

Le PNPRU prévoit théoriquement la tenue d'un Comité de crise présidé par le préfet de la région sinistrée, voué dans un premier temps à organiser une reconnaissance de terrain pour évaluer la situation. Les faits montrent qu'il est impossible d'attendre que ses membres soient réunis : c'est l'Etat-Major de l'Armée Nationale de Développement, à la tête du COSEP, qui s'en charge. L'armée est en effet la seule institution restée unie et susceptible de prendre des décisions rapides depuis la révision constitutionnelle de 2001. Les militaires sont effectivement très réactifs dans la soirée du 28, mais manquent d'organisation : dans la précipitation un groupe de gendarmes part chercher le responsable de l'OVK à son domicile alors que celui-ci est à l'étranger. Ils sont désarmés de ne pouvoir avoir affaire à lui. Cela montre au passage que la gestion de crise suit des schémas informels qui ne sont pas représentés sur le papier. Du fait de la taille réduite du territoire et de son statut, tout le monde « connaît » le responsable de l'OVK. L'armée annonce par ailleurs avoir placé des véhicules en alerte de façon à pouvoir évacuer les populations si cela s'avérait nécessaire. Dans les faits quelques voitures sont disponibles, bien insuffisantes pour pouvoir envisager la moindre évacuation. L'armée, bien qu'elle soit la plus apte à intervenir, manque elle aussi cruellement de moyens d'intervention. Les militaires n'ont par ailleurs reçu qu'une formation de base aux premiers secours. Cette désorganisation tient en partie au fait que le COSEP n'a été institué que trois semaines avant l'éruption et n'existe pas encore physiquement (il sera établi en janvier 2007 sur le site de la base AMISEC au moment de la crise). Plus anecdotique, son Directeur est interdit de sortie du territoire comorien en raison de faits de corruption présumés sous le précédent régime. Il y a à son encontre une défiance des politiques qui pourrait, dans une infime mesure, expliquer l'interventionnisme des politiques dans la crise. Par ailleurs, la Police Nationale est censée prêter main forte à l'AND, or elle est totalement dépourvue de moyens.

Il n'existe en parallèle aucun corps civil de Protection Civile. C'est un domaine vierge en voie de structuration majeure. Conséquence des éruptions de 2005, il a été prévu que 60 personnes (dont 30 Grand-Comoriens) bénéficient d'une formation aux techniques de protection civile durant l'été 2006. La Direction Nationale de la Protection Civile (DNPC), institutionnalisée en 2005, ne compte juridiquement qu'une personne (son Directeur) et n'est dotée d'aucun budget, - si ce n'est depuis janvier 2006 une modeste somme allouée à la bureautique légère. De nouvelles embauches sont inenvisageables en raison des Plans d'Ajustement Structurel négociés avec la Banque Mondiale. La DNPC est censée s'appuyer sur les informations transmises par les Préfets et radios périphériques en parallèle de son équipe de terrain, puis de faire appel au COSEP pour déployer des moyens d'intervention. Le COSEP est donc théoriquement placé sous l'autorité de la DNPC. Dans les faits, c'est l'inverse qui se produit. Cette coordination « à contre-courant » entre DNPC et COSEP alimente un état d'inertie. Le chef de la DNPC admet qu'il s'est désintéressé des actions engagées face au risque volcanique en 2005, justifiant son désengagement par le fait qu'il se sentait moins concerné que le COSEP puisqu'aucun moyen ne lui était attribué. Des fonds dégagés par les Nations Unies pour faire face aux aléas volcaniques ont été partiellement annulés car le gouvernement comorien ne les a pas réclamés en dépit d'une procédure requise très simple. Entre absence de moyens humains et financiers, structures physiques inexistantes,

[152] Ce qui constitue d'ailleurs une erreur méthodologique commise sur le terrain, cette donnée quantitative étant a posteriori intéressante pour montrer l'ampleur des interactions.

institutions jeunes et désorganisées, corruption et immobilisme, la capacité des deux chefs comoriens de la protection civile à gérer un événement en mai 2006 est donc toute relative.

Le Ministère des Relations Extérieures (MIREX) fait part lors de cette éruption de ses difficultés à coordonner les renseignements en provenance de l'Etat-major, de la Protection Civile et du Ministère de l'Intérieur de Ngazidja pour pouvoir en rendre compte et demander l'assistance des partenaires internationaux. Or, compte-tenu du manque de moyens, c'est justement sur ces partenaires internationaux que reposent toutes les possibilités d'une gestion réussie en cas d'événement majeur.

#### ❖ *Une dépendance quasi-totale à l'aide extérieure*

La gestion des crises est tributaire, à de nombreux égards, d'organismes étrangers, qui possèdent par ailleurs leur propre plan de gestion incluant diverses solutions d'évacuation prioritaire de leur personnel.

- **Des activités de surveillance sous perfusion étrangère**

En temps de crise, les chercheurs de l'IPGP et de l'Université de La Réunion se chargent des analyses volcanologiques, réfléchissent aux scenarii éruptifs et conseillent indirectement les autorités en transmettant leurs conclusions à l'OVK qui n'est pas autonome sur le plan de l'interprétation scientifique.

Le volontaire du SCAC n'est pas autorisé à communiquer directement d'informations à la presse ou aux autorités comoriennes : il doit passer par l'Ambassade de France. Cela signifie que lorsque le responsable comorien de l'OVK est indisponible, comme cela était le cas les premiers jours de l'éruption de mai 2006, l'Ambassade de France se retrouve théoriquement à la tête de la gestion des crises en détenant les rennes de l'information. C'est le cas de figure qui se serait produit si l'équipe de La Réunion n'avait pas été sur place à cette période. Le Ministère des Relations Extérieures et de la Coopération en Union des Comores estime que cette situation est normale en raison des investissements financiers importants de la coopération française dans l'OVK (80% des financements). Toutefois, en cas d'urgence réelle, ce niveau intermédiaire supplémentaire est susceptible de compliquer la communication et de générer une perte de temps dans la diffusion des informations (outre les tensions qui pourraient apparaître entre un VCAT dans l'impossibilité de délivrer les informations et des interlocuteurs en mal d'information). Les autorités françaises indiquent quant à elles qu'elles ont pleinement conscience de l'enjeu de la communication en contexte de crise volcanique et qu'elles sont prêtes à l'assumer. Cet élément fait partie en 2006 des facteurs potentiellement défavorables à une gestion de crise optimale.

Le problème de la surveillance aérienne s'est posé de manière très concrète lors de la crise. Les forces armées sud-africaines de sécurisation des élections présidentielles (AMISEC)[153] ont permis des visuels de l'activité sans lesquels le point d'émission n'aurait pas été localisable sans un laps de temps supplémentaire important, en envoyant une équipe à pieds au sommet. Les Comores ne disposent en 2006 d'aucun moyen aéroporté permettant une observation. On peut dire en ce sens que les élections ont contribué à la désorganisation du système de gestion de crise mais qu'en contrepartie elles ont permis de gagner un temps précieux dans la localisation de l'activité et l'élaboration des scenarii éruptifs.

- **Des moyens opérationnels de gestion des urgences reposant principalement sur les solidarités régionales**

Outre l'AND, la gestion opérationnelle des urgences repose principalement aux Comores sur le réseau de 1600 volontaires du Croissant Rouge Comorien (CRCo). Dans le cas des crises volcaniques, le CRCo gère

[153] Présentes plusieurs semaines en Grande Comore pour assurer le mode démocratique du scrutin et le maintien de l'ordre civil lors des élections de l'Union de mai 2006.

essentiellement l'approvisionnement en eau et le nettoyage des citernes éventuellement polluées par les cendres. Son directeur souligne en 2006 un manque profond de moyens matériels et financiers pour s'acquitter de ces tâches. Sa puissance d'action repose essentiellement sur le réseau Croix-Rouge/Croissant-Rouge à l'échelle régionale (Plate-forme d'Intervention Régionale de l'Océan Indien de la Croix Rouge Française (PIROI) et Fédération Internationale des Sociétés de la Croix Rouge et du Croissant Rouge (IFRC) lorsque la PIROI ne suffit pas). C'est théoriquement la PIROI qui évalue la situation et demande des soutiens supplémentaires. En mai 2006, la Fédération a pris les devants en proposant une mise en alerte qui a été approuvée par le CRCo. Soixante-dix membres de la PIROI et de l'IFCR sont ainsi placés en alerte et tous les moyens aériens et maritimes passés en revue en vue d'une mobilisation potentielle, en attendant l'établissement des scenarii éruptifs par l'équipe présente à l'OVK. Si la nature proprement dite de l'activité volcanique ne justifie pas un tel dispositif *a posteriori*, il faut garder à l'esprit tous les problèmes de déplacement et d'hygiène potentiellement engendrés par une éruption volcanique dans un pays où existe notamment le vibrion du choléra.

Parallèlement, le gouvernement fait appel au Résident Coordinateur des Nations Unies. Celui-ci est en contact avec OCHA pour déterminer les besoins au cas où un appui s'avérerait nécessaire. Hors crises, la quasi-totalité des fonds engagés dans des mesures structurelles pour la préparation aux urgences et la reconstruction proviennent des Nations Unies et de l'Europe (UNDP, OCHA, PAM, UNICEF, ECHO).

### ❖ *Un plan national de secours dont « chaque ligne est une carence »*

*(un haut responsable des Nations Unies, Moroni, juin 2006)*

L'absence d'alerte est certainement pour beaucoup dans la situation de désorganisation décrite précédemment, aucune forme d'intervention n'ayant pu être préparée et les gens venant chercher l'information qu'ils n'ont pas (eue) directement à la source. Le changement de gouvernement a joué également. Mais cela n'explique pas tout. La crise a en effet montré la portée très limitée du PNPRU. Si ses procédures avaient été suivies, l'OVK aurait eu un nombre très limité d'interlocuteurs parmi les autorités comoriennes. Dans les faits, on note une absence généralisée de connaissance du plan aussi bien de la part des institutionnels comoriens que des partenaires étrangers. Normalement distribué par le PNUD, et bien qu'il ait valeur légale, il reste introuvable presque partout, et en premier lieu à l'OVK. Sa mise en forme ne permet pas, par ailleurs, une lisibilité immédiate (il ne contient que du texte et des tableaux chargés, aucun schéma clair). On peut en outre s'interroger sur l'applicabilité d'une planification de ce type dans un pays de tradition orale où le pouvoir coutumier joue un rôle prépondérant. L'épisode des gendarmes partis chercher le responsable de l'OVK chez lui montre bien que des schémas de « proximité » sont suivis. Enfin, le plan n'est complété d'aucune donnée actualisée (personnes à contacter…) et reste purement théorique et indicatif.

Les hypothèses de planification semblent utopiques. La première, qualifiée de « probable à 50% » est une coulée de lave recouvrant Moroni avec 100 000 personnes affectées, des mouvements rapides et massifs de population, la destruction des infrastructures publiques et des stocks de vivres, des pertes humaines. La priorité serait de pouvoir fournir aux personnes affectées une assistance dans les trois heures qui suivront le début de l'éruption et pour deux semaines de façon autonome, tout en mobilisant l'assistance internationale de façon à assurer une continuité dans l'aide d'urgence, et enfin d'établir des conditions adéquates pour la réinstallation des populations sinistrées. Le document prévoit les modalités de relogement et le stockage d'aliments et de produits de première nécessité. Tout est parfaitement planifié. Si ce n'est qu'il n'existe en 2006 aucun de ces hypothétiques stocks dans le pays et qu'il est fort probable que

de nombreuses difficultés organisationnelles seraient rencontrées.

Les Comoriens constituent ainsi le cœur (faible) d'un système de gestion étoffé d'oreilles franco-comoriennes (sourdes), sur le plan scientifique d'un cerveau français (capable de résoudre uniquement les équations captées par les oreilles), potentiellement d'une voix française, d'yeux sud-africains, et de mains (pour la partie opérationnelle) et poumons (pour la partie financière) internationaux. Cela ne poserait pas de problèmes si chaque type d'intervenant n'avait pas ses propres préoccupations et urgences potentielles à régler en fonction de la façon dont il perçoit les enjeux. Lors de l'éruption, les autorités comoriennes se focalisent sur le maintien de l'ordre (et secondairement à échelle individuelle sur l'assise de leur pouvoir politique en faisant acte de présence). Les Nations Unies se soucient avant tout de l'évolution de la situation pour éventuellement programmer une mise en sécurité de leur propre personnel. Il en va de même pour les forces AMISEC qui veulent prioritairement s'assurer que l'aéroport de Hahaya sera épargné par l'éruption, leurs transports de troupes ne pouvant se faire que sur sa piste. Son atteinte contraindrait l'armée sud-africaine à prolonger sa mission sur place… En cas d'événement grave, on se figure bien que les solutions apportées seraient fonction de ces intérêts divergents. Se pose par ailleurs un problème de pérennité des projets de reconstruction et prévention engagés post-crise.

#### ❖ *Des gestionnaires mal formés et informés*

Fait particulièrement marquant lors de cette crise, les questions les plus alarmistes ont émané des responsables institutionnels et non des populations (« *[…] Est-ce qu'il ne faudrait pas faire une étude pour voir si l'île peut réellement être occupée ?* »). Nous avons émis l'hypothèse de la recherche d'une forme de catastrophisme pour justifier la nécessité de leur implication dans la gestion des risques [Morin 2006]. Il s'agit beaucoup plus sûrement d'un problème de formation de ces personnes. Leurs questions sont liées d'une part à une absence de connaissance du risque volcanique, d'autre part à un manque de familiarisation avec le système de gestion. En demandant aux principaux intéressés des clarifications sur le fonctionnement des diverses organisations et leur implication dans la gestion du risque volcanique, nous avons quasi systématiquement été pris à contre-pieds puisque considérés d'emblée en tant qu'experts et chargés de requêtes, même après avoir fait valoir notre simple statut étudiant. Ce comportement en soi est un premier indicateur des carences rencontrées dans la gestion des risques en Grande Comore, parmi lesquelles ce problème de compétences aux plus hauts échelons de la gestion des crises. On note cependant que les acteurs concernés ont une conscience aigüe de leurs propres défaillances d'une part, et qu'ils montrent un grand intérêt pour d'éventuelles mesures de formation et d'information, élément prometteur dans l'optique d'une future sensibilisation. A leur décharge, en plus de l'absence d'alerte et d'information préventive dans le pays, l'information de crise a connu quelques déboires.

### 2.2.3. Des médias omniprésents

A l'image des institutionnels, les journalistes affluent à l'OVK peu après le début de l'éruption. Ils sont tenus à l'écart durant deux heures, en attendant de faire un point de la situation et d'avoir une information cohérente à diffuser. Les premières informations sont livrées peu après 23h, une fois prise la décision d'un survol avec les forces AMISEC le lendemain à l'aube. Cette diffusion se fait auprès des médias nationaux et locaux comoriens, et des médias internationaux, immédiatement au courant de l'éruption via les dépêches AFP et Reuters des correspondants locaux. *Seulement* six interviews sont données, l'heure tardive limitant le nombre de journalistes comoriens venus et restés à l'OVK. Le contenu du message stipule la nature *a priori* magmatique de l'activité, l'incapacité à pouvoir la localiser précisément ou déterminer son évolution, la planification du survol pour en avoir une idée plus précise, et le fait que l'OVK

ne délivrera pas d'autre information avant ce survol. Vers 23h45, un chercheur du CNDRS avertit l'équipe de l'OVK que les premières informations erronées viennent d'être diffusées sur une radio locale. Les journalistes ont interprété le message à leur façon[154] et annoncent qu'il n'y aura aucune évolution de l'activité du volcan jusqu'au lendemain! Loin d'être anecdotique, cette information, *de facto* contradictoire avec celles données par les autres médias, alimente l'inquiétude d'un certain nombre de personnes qui choisissent de se déplacer à l'OVK pour comprendre l'état réel de la situation. Une activité de veille médiatique est alors mise en place sur internet : la presse est épluchée à l'aube, en fin de matinée et en début de soirée. Cela constitue une charge de travail supplémentaire mais doit permettre de démentir rapidement des informations erronées en cas de nécessité. Des correspondants locaux « surveillent » quant à eux les programmes radiophoniques comoriens.

Le lendemain, les journalistes attendent l'équipe de l'OVK à la sortie du tarmac. Quelques informations sur les observations faites pendant le survol sont données. A peine une heure plus tard, de fausses informations circulent dans les médias comoriens… Le communiqué de presse rédigé vers dix heures après un passage en cellule de crise officielle n'empêche pas les nombreuses demandes d'interview tout au long de la journée et la diffusion une fois encore de fausses informations vers 18h à la télévision mauricienne et sur la première page du site internet de France 2. Ces médias annoncent des coulées qui menacent des milliers d'habitants (Figure 83). L'équipe est contrainte à contacter l'AFP pour demander un démenti. Aux Comores, il est apporté en direct au journal de 20h de la TNC.

Les relations avec les médias se tendent le 30 mai, plus en raison de problèmes déontologiques qu'à cause de ces fausses informations à répétition. Des images de l'éruption prises par l'équipe scientifique ont été prêtées le 29 mai à un correspondant RFO et un journaliste de la Télévision Nationale Comorienne afin d'illustrer leurs messages aux populations. Dans la journée, l'équipe scientifique découvre que les photographies ont été monnayées avec l'AFP. A l'international, la presse sud-africaine multiplie les appels, uniquement pour obtenir à son tour des images. Pour satisfaire les besoins des éditoriaux du matin et du fait du décalage horaire, la presse internationale[155] est par ailleurs la première à appeler chaque jour, avec un respect parfois tout relatif des convenances (5h du matin le 31). Enfin, l'OVK est obligé de publier deux *démentis* supplémentaires via la presse nationale le 30 mai pour faire face à des rumeurs d'éruptions sur les flancs rapportées par les populations.

Seules quatre interviews sont données le 31 : la situation s'étant stabilisée il n'y a ni nouvelles images ni nouvelles sensationnelles à glaner. Le trémor cesse le 1er juin, alors que les responsables des relations-médias à l'OVK sont en pleine conférence de presse pour annoncer la constance de l'activité. Une interruption de séance de quelques minutes est annoncée le temps de faire un point d'équipe. Malgré des précautions oratoires délivrées avant la pause sur le calme de la situation, la situation suscite une fois encore une vague d'incompréhension : certains journalistes ont peur qu'il se passe quelque chose de grave et souhaitent commencer à diffuser l'information en direct à l'antenne. La reprise de la séance les interrompt et l'annonce de la fin probable de l'éruption est délivrée.

Au final, 47 interviews répertoriées ont été données en cinq jours, avec des phases plus denses que d'autres, notamment le 29 mai où près de 5h d'interview sont accordées. L'OVK n'aurait pas eu à publier quatre démentis et cette omniprésence journalistique aurait été plus facile à gérer si un certain nombre de

[154] Il ne s'agit *a priori* pas d'un problème linguistique de traduction entre français et comorien puisque les informations ont été données dans les deux langues.

[155] Au final, l'équipe a communiqué directement avec les médias comoriens (nationaux et locaux), réunionnais, français, sud-africains, algériens.

conditions avaient été remplies :

- que les journalistes aient une connaissance basique du risque volcanique : sujets aux mêmes peurs et croyances que l'ensemble de la population, ils posent au cours de l'éruption certaines questions que l'on peut qualifier de surprenantes (« *toute l'île va-t-elle être engloutie par le feu* ? »…), alimentant dans leurs débats les interrogations des populations ;
- qu'ils soient un minimum formés à la communication de crise. La formation de trois journalistes dans ce domaine est justement - programmée au cours de l'été 2006 à Nairobi. Dans cette attente, aucun ne l'est sur l'île. Ils viennent notamment chercher leurs informations à l'OVK alors qu'ils sont censés communiquer avec la cellule de crise officielle, et montrent une méconnaissance totale du système de gestion en place ;
- que le code de déontologie sous-jacent au métier de journaliste soit respecté, en premier lieu via une retransmission scrupuleuse de l'information sans la déformer - ce qui implique notamment d'accepter l'absence de nouvelles sensationnelles sans en créer. En dehors de celles appelant à formuler des démentis, de très nombreuses erreurs *minimes* (dans le sens où elles n'étaient pas susceptibles d'influencer le comportement des populations ou de favoriser la diffusion de rumeurs) ont été relevées dans la production médiatique, marque d'un manque de professionnalisme.

L'analyse du contenu médiatique permet de souligner un manque flagrant d'esprit critique face à la situation de crise, les journalistes se contentant de décrire les faits rapportés par la cellule de crise et l'OVK sans s'interroger sur le déroulement des événements. Seul le journal d'opposition Kashkazi s'interroge sur les capacités de gestion au cours de cette crise. Cette absence de polémique tient certainement à une méconnaissance du système théorique de gestion d'une part (qui ne permet donc pas d'établir de comparaison avec la gestion réelle de l'événement) et à l'idée que le pays manque de moyens, donc que la crise ne saurait être gérée autrement.

*Figure 83 - Exemple de rumeur reléguée par la presse internationale dans l'après-midi du 29 mai*

A ces problèmes de formation des journalistes s'ajoutent des défaillances techniques. Radio Comores, la radio d'Etat officielle chargée transmettre les informations et consignes aux populations en tant de crise, est inaudible au Sud et à l'Est de l'île faute de relais radio suffisants. Les radios locales prennent alors le relais de l'information, favorisant les phénomènes de *téléphone arabe.* Dans certaines zones, il n'existe cependant strictement aucun vecteur d'information : les villageois de Nkourani Sima, pourtant parmi les plus proches du cratère, sont ainsi totalement isolés.

### 2.2.4. Des populations en mal d'information restées relativement calmes

#### ❖ *Comportement des populations après le déclenchement de l'éruption*

Contrairement aux éruptions de 2005, qui ont provoqué des exodes massifs inter-villageois et inter-régionaux[156], les réactions immédiates ont été limitées en 2006 à des déplacements intra-urbains essentiellement dans l'Ouest de l'île, avec pour principaux points de convergence les mosquées et les stades, et à Moroni l'OVK. On estime que 300 citoyens anxieux ont afflué à l'OVK au cours des deux premières heures d'éruption, puis qu'une moyenne de 70 personnes s'est présentée sur place chaque jour jusqu'à l'arrêt de la crise. Une trentaine a contacté l'observatoire par téléphone. La gendarmerie a elle aussi connue une importante influence, non quantifiée. Pendant les quatre jours d'éruption les mosquées et le stade de Moroni (transformé en lieu de prière) n'ont pas désempli. Malgré son confinement en zone sommitale et sa nature magmatique, l'éruption a suscité une vive inquiétude, notamment par peur de retombées de cendres comme celles de 2005.

Ces déplacements spontanés en cas d'éruption, qui plus est lorsqu'ils génèrent un encombrement des instances de gestion, sont particulièrement problématiques. Quelques jours après l'éruption, une enquête

[156] Selon Chouaybou [2010], en 2005, 80% de la population a fui le Mbadjini-Ouest, au sud de l'île, en grande majorité vers Moroni.

permet d'établir que la fuite immédiate est l'une des premières réactions adoptées par un quart des répondants lors du déclenchement d'une éruption (Figure 84). S'y ajoutent 10% d'individus qui ne savent pas quoi faire, portant à environ 35% les personnes qui ont a priori un comportement « inadapté »[157] lorsqu'une éruption survient. D'autres comportements ne peuvent être qualifiés ni d'« adaptés » ni d'« inadaptés » puisqu'ils recouvrent des réalités variables selon le contexte (en gris Figure 84).

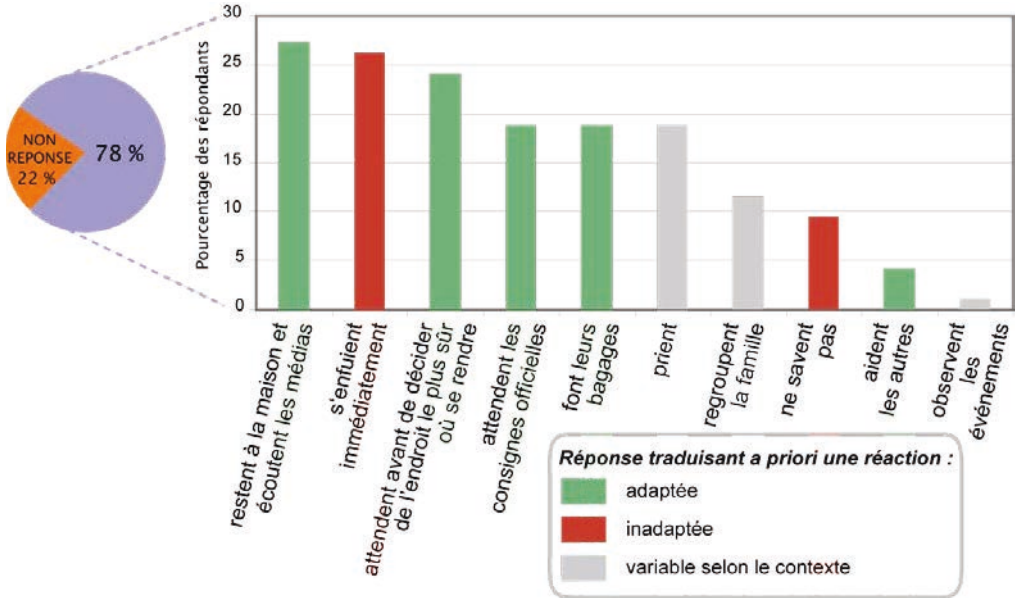



*Figure 84 - Premières réactions déclarées par les enquêtés en mai 2006 (E-GC1b, n=135)*

Les comportements « inadaptés » ont fait l'objet de questions ciblées lors d'une nouvelle enquête en 2007 (E-GC2b, n=1047). En plus d'évacuations spontanées chez 32,1% des répondants en cas d'éruption volcanique, cette enquête a mis en évidence que 19% de la population évacuerait seulement sous certaines conditions (s'il y a une preuve visuelle de la menace pour 8%, si l'OVK indique la localisation précise de l'éruption pour 7%, à condition d'avoir idée de l'endroit où aller pour 3%) et que 7,6% refuseraient d'évacuer (désireux de voir eux-mêmes où *passe* le volcan (4%), estimant qu'il n'y a pas de danger mortel (2%) ou qu'il est de leur devoir de rester (1%)). Au final, seuls 41,3% des individus sont susceptibles d'évacuer au bon moment. Cette même enquête montre qu'1% des répondants demanderait une confirmation de la situation aux autorités par téléphone en cas d'ordre d'évacuation, un chiffre bien trop élevé si les autorités veulent pouvoir travailler correctement et éviter tout risque de saturation du réseau.

Lors de la crise de mai 2006, l'encombrement des lignes téléphoniques des gestionnaires constitue justement un des points d'achoppement. En l'absence d'alerte, les premiers appels des populations à l'OVK sont destinés à s'informer de l'état de la situation. Puis, une fois les premières informations diffusées via les médias, la nature des appels change : ils sont destinés à donner aux autorités des informations sur les phénomènes observés (très souvent des feux de brousse…) et ressentis (odeurs, sismicité). A partir du 30 mai, de nombreux appels proviennent de la région de Bahani où des séismes provoquent l'inquiétude des populations. Cette sismicité inquiète également l'équipe de l'OVK qui n'exclue pas un point de sortie dans la zone. Cette information n'est toutefois pas divulguée puisqu'elle est impossible à confirmer et qu'elle affolerait inutilement les populations de la région. Immédiatement après la diffusion des premières informations, les milliers d'appels sont par ailleurs lancés de la Diaspora aux familles pour s'assurer qu'elles sont sauves, facteur de saturation des lignes.

[157] Au regard de ce qu'il conviendrait de faire pour permettre une gestion de crise optimale par les autorités.

D'abord soucieuses de la mise en sécurité des personnes et des biens, les populations se sont inquiétées dès le 29 mai de connaître les impacts de l'éruption sur leur santé et des rumeurs couraient dans Moroni sur d'éventuelles pathologies respiratoires ou le développement de maladies comme la silicose.

### ❖ *Fondements des comportements adoptés*

Ces comportements sont bien sûr à mettre en lien avec l'absence d'alerte et d'information, dans une moindre mesure à une connaissance insuffisante du risque volcanique, mais également à la perception-même de la gestion des crises en général et de la crise en cours en particulier.

- **Des déplacements spontanés motivés par le besoin de se rassurer en s'informant ou en priant**

En l'absence d'une alerte délivrée par l'OVK, la majeure partie de la population apprend la survenue de l'éruption par bouche à oreille ou observation directe[158]. Seul un tiers de la population est informé de l'éruption par les médias (Figure 85). Jusqu'au survol du 29 mai, l'absence de réponses claires sur l'activité en cours alimente par ailleurs l'anxiété des populations, pour partie persuadées que si les scientifiques ne communiquent pas, cela signifie nécessairement que des problèmes sérieux sont en cours. C'est le besoin d'obtenir les informations qui ne sont pas délivrées (faute d'en avoir à délivrer…) qui pousse un certain nombre de personnes à se déplacer directement à l'OVK.

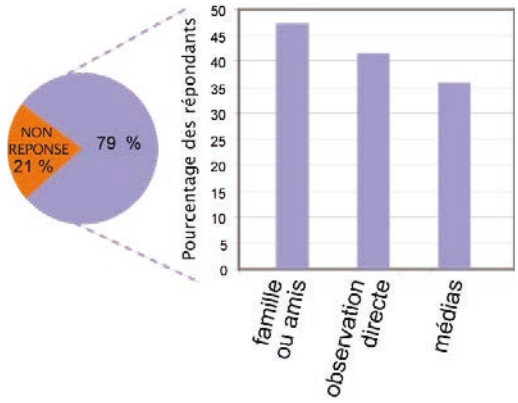



*Figure 85 - Vecteurs d'alerte des populations recensés en mai 2006 (E-GC1b, n=135)*

Faute d'une connaissance et d'une expérience suffisantes du risque volcanique, les populations font une mauvaise interprétation des phénomènes qu'ils observent en début d'éruption. Le panache de gaz qui surplombe le Karthala, rougeoyant du fait de la présence du lac de lave sous-jacent, est pris pour une immense fontaine de lave de plusieurs centaines de mètres de haut, alimentant la crainte d'une éruption majeure. Rien d'étonnant quand on sait qu'en 2010, malgré des campagnes d'information suite aux quatre éruptions de 2005, 2006 et 2007, encore 90% de personnes interrogées estiment qu'elles ne sont pas bien renseignées sur l'activité du Karthala [Chouaybou 2010]. Parallèlement, l'expérience des retombées cendreuses de 2005 fait craindre une répétition de ce scenario. De façon générale, le Karthala est d'ailleurs perçu comme une menace par 81% des enquêtés en 2007 (E-GC2b, n=1047). Enfin, le 27 mai 2006, la veille de l'éruption, un important séisme fait 5000 morts à Yogyakarta en Indonésie. Persuadée que les événements sont reliés, une partie de la population craint que l'éruption ne dégénère aux Comores.

Enfin, les déplacements spontanés sont largement liés à la volonté de se rendre dans les lieux de culte officiels ou improvisés afin de prier. L'idée que les éruptions surviennent pour punir la population de ses péchés, est, comme dans beaucoup d'endroits du monde, très répandue. La prière est donc censée

[158] L'enquête menée en 2007 – E-GC2b, n=1047 – montre que 35% des gens voient le Karthala depuis leur domicile.

apaiser le volcan.

- **Des réactions également liées à une perception lucide de la gestion de crise**

En tête des principaux problèmes posés par la survenue de l'éruption, celui des difficultés de déplacement et le fait que les évacuations ne sont pas assurées par les autorités (cité respectivement chez 25 et 20% des répondants, Figure 86). Ce facteur perceptif explique également les mouvements spontanés de population qui anticipent les difficultés de déplacement tout en sachant qu'elles ne peuvent compter que sur elles pour évacuer. Ce besoin d'anticipation alimente le besoin d'information, qui à son tour favorise l'afflux de populations vers l'OVK et la gendarmerie.

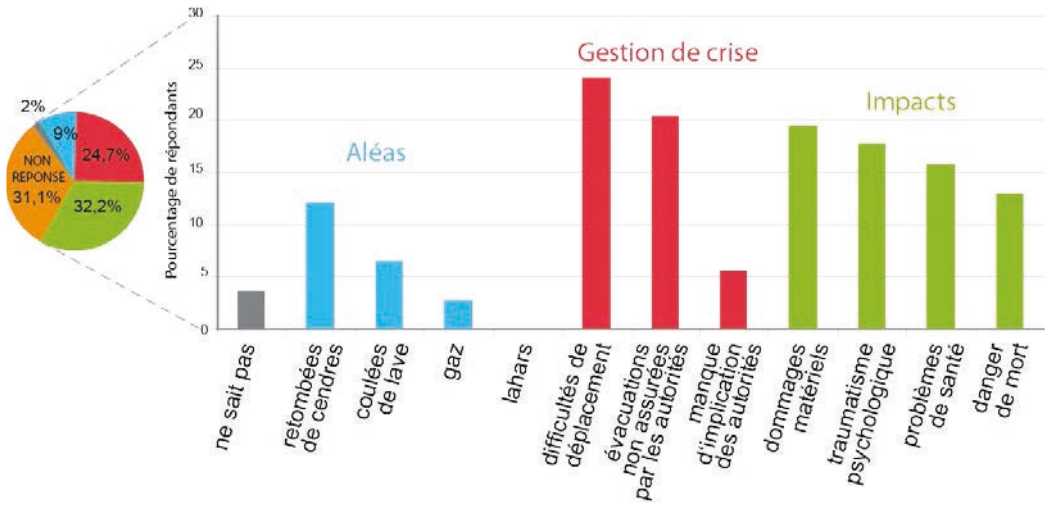



*Figure 86 - Principaux problèmes posés aux populations lorsqu'une éruption survient (E-GC1b, n=135)*

Interrogés précisément sur la gestion de crise, 77% des enquêtés estiment les pouvoirs publics insuffisamment impliqués dans la gestion de la crise, 93% que les mesures prises pour protéger les populations sont insuffisantes, 92% que l'efficacité des secours n'est pas bonne. En revanche, 56% estiment que les médias transmettent l'information de façon objective, ce qui comme nous l'avons vu, n'est pas le cas (Figure 87).

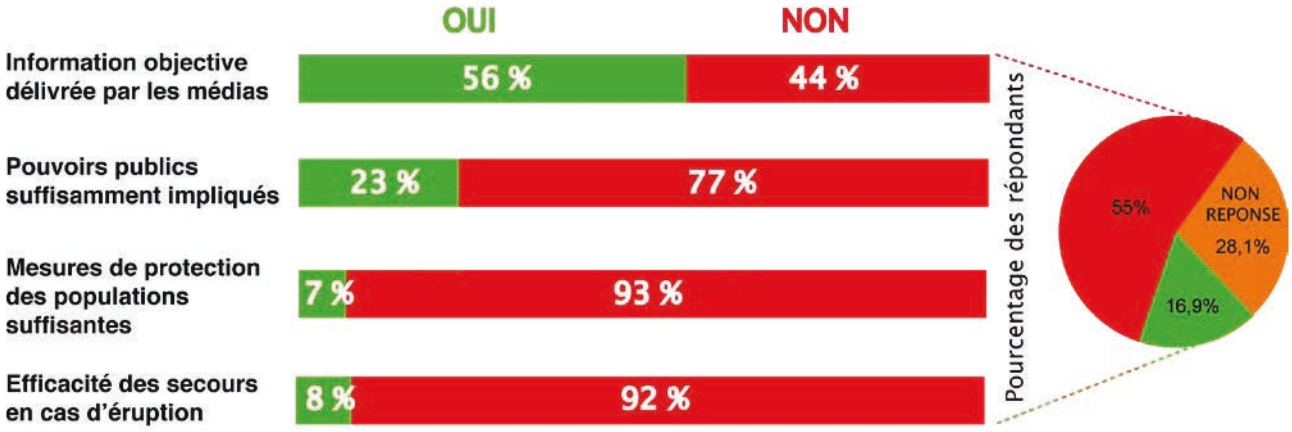



*Figure 87 - Perception de la gestion de crise par les populations en mai 2006 (E-GC1b, n=135)*

Notons pour conclure une absence marquée de différences entre la perception des acteurs de la gestion (OVK excepté) et celle des populations à propos du risque et des crises volcaniques. Les institutionnels ont en effet une conscience aigüe de la plupart de leurs lacunes et les énoncent avec une transparence totale. Les discours de l'ensemble des parties prenantes sont donc concordants.

## 2.3. SYNTHESE DES APPORTS DE LA CRISE DE MAI 2006 ET DES BESOINS ACTUELS POUR LA GESTION DES CRISES ERUPTIVES

En l'absence de rencontre aléa/enjeux, l'éruption de mai 2006 est restée un événement sans incidence grave. Elle a cependant permis de mettre en évidence de nombreuses limites et défaillances du « système » de gestion qui induisent un fort potentiel au développement des crises et des catastrophes dans le pays. Son analyse permet en effet de pointer une « relative ingérence » de cet événement en théorie « parfaitement gérable » puisqu'aucun enjeu n'a été physiquement atteint.

Le Tableau 27 synthétise les principaux points d'achoppement mis en évidence par le RETEX de mai 2006 puis détermine s'ils sont communs aux éruptions de 1977 et 2005 (décrites précédemment) et de 2007 (présentée en Annexe 19). La quasi-totalité des facteurs est en effet commune aux quatre éruptions survenues dans les années 2000. Le cas de 1977 est en revanche un peu particulier car l'OVK, les organisations de protection Civile et les médias n'existaient pas encore. L'évolution de ces facteurs jusqu'en décembre 2011 est ensuite appréciée et résumée à l'aide de signes mathématiques (+/-/=).

*Tableau 27 - Synthèse des principaux facteurs de défaillance mis en évidence par le RETEX de l'éruption de mai 2006*

**Comparaison avec les crises volcaniques passées & évolution de mai 2006 à décembre 2011**

Non valable à cette date | **X** Facteur commun | **?** Absence de données

**+** Amélioration | **-** Dégradation | **=** Situation inchangée

**Potentiel crisogène de chaque facteur en décembre 2011**

Maximal | Fort | Modéré | Faible

| Facteurs de défaillance dans la gestion de crise relevés par acteurs en mai 2006 | | valable au cours des éruptions de | | | | Evolution 2006-2011 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1977 | Avril 2005 | Novembre 2005 | 2007 | |
| OVK | Carences en ressources humaines | | X | X | X | + |
| | Formation insuffisante du personnel | | X | X | X | = |
| | Manque de moyens matériels et financiers propres | | X | X | X | + |
| | Réseau de surveillance périodiquement inopérant | | X | X | X | + puis - |
| | Aucune donnée disponible pour le flanc Est | | X | X | X | + |
| | OVK scientifiquement dépendant de l'IPGP et de l'OVPF | | X | X | X | = |
| | Pas d'activités d'information préventive des populations | | X | X | X | = |
| Autorités comoriennes | Manque d'une connaissance basique du risque volcanique | X | X | X | X | + |
| | Manque d'une connaissance basique du système de gestion des crises | ? | X | X | X | + |
| | Système politique favorable au manque de coordination | NON | X | X | X | = |
| | Pas de corps de Protection Civile professionnel | X | X | X | X | + |
| | Absence de budget dédié à la Protection Civile | X | X | X | X | + |
| | Phénomènes d'inertie liés à l'existence de plusieurs instances de Protection Civile | | X | X | X | = |
| | PNPRU globalement méconnu et non maîtrisé | | X | X | X | ? |
| | Absence de mise à jour des données du PNPRU | | X | X | X | + |
| | Absence des stocks mobilisables en urgence décrits dans le PNPRU | | X | X | X | = |
| | Gestion de crise largement dépendante de l'aide extérieure | NON | X | X | NON | = |
| | Recours du Gouvernement de l'Union aux Nations Unies et à l'Europe pour la gestion des urgences | X | X | X | X | = |
| | CRCo aux ressources très limitées dépendant de la PIROI et de l'IFRC | | X | X | X | = |
| | Surveillance aérienne reposant sur des forces armées étrangères | NON | X | X | X | + |
| Médias | Battage médiatique | | X | X | X | + |
| | Manque d'une connaissance basique du risque volcanique | | X | X | X | + |
| | Manque d'une connaissance basique du système de gestion des crises | | X | X | X | + |
| | Recherche de sensationnalisme / déontologie limitée | | ? | ? | ? | ? |
| | Zones entières de l'île non couvertes par les médias | | X | X | X | = |
| Population | Mouvements spontanés de population | X | X | X | X | = |
| | Manque d'une connaissance basique du risque volcanique et des moyens de s'en protéger | X | X | X | X | + |
| | Perception négative de la gestion de crise | X | X | X | X | = |

### 2.3.1. Apports du RETEX sur l'éruption de mai 2006 : les préconisations transmises dès 2006 aux gestionnaires

Cette analyse a permis de conclure qu'il conviendrait de réfléchir sérieusement à la mise en place ou à la réalisation :

- d'un cadre institutionnel plus clair et d'une réglementation, notamment pour établir les responsabilités aux différents échelons du pouvoir (Union / Iles) et entre civils et militaires (DNPC/COSEP) ;

- d'un réseau de surveillance plus élaboré et mieux entretenu à l'OVK ;
- de l'adoption des protocoles de gestion de crise proposés par IAVCEI [Newhall et al. 1999 ; Geist et Garcia 2000] au sein de l'OVK ;
- de personnes formées et compétentes à tous les échelons et dans tous les domaines de la gestion ;
- d'une sensibilisation des autorités et populations soutenue et adéquate, notamment avec le concours des médias ;
- d'une cartographie des aléas, des enjeux, de leur vulnérabilité, et du risque ;
- d'un zonage réglementaire imposant par exemple l'entretien des citernes ;
- d'une utilisation optimisée des capacités des ONGs ;
- d'un corps de Protection Civile renforcé ;
- d'une formation des journalistes et gestionnaires à la gestion et à la communication de crise.

Elle a également permis de souligner des points positifs :

- la grande flexibilité des intervenants (absence de cadre normatif contraignant et flexibilité intellectuelle) ;
- une bonne autoévaluation des capacités de réponse avec une conscience aigüe des défaillances, et une vision concordante entre autorités et populations ;
- un grand intérêt de toutes les parties prenantes pour recevoir information et formation sur le risque volcanique ;
- une volonté d'évolution très marquée de toutes les parties prenantes pour faire progresser la gestion des risques volcaniques.

Les principaux intéressés ont bien entendu bénéficié des conclusions de ce RETEX. Des notes pointant les différents dysfonctionnements et avancées nécessaires ont été transmises en juin 2006 :

- au Directeur du COSEP, principalement pour souligner les besoins de coordination des acteurs et de sensibilisation des populations ; à sa demande suivra une nouvelle note de synthèse sur l'ensemble des intervenants dans la gestion des risques volcaniques et le besoin d'une coordination nationale159;
- à l'Ambassade de France, en soulignant la nécessité d'un maintien voire d'un renforcement des financements à l'OVK, et d'une meilleure véhiculation de l'information sur le volcan en temps et hors temps de crise.

En parallèle des points de situation ont également été établis :

- en interne à l'IPGP, sur le fonctionnement de l'OVK et la nécessité de relancer régulièrement l'Ambassade de France pour la continuité des financements ;
- avec trois journalistes (de la TNC et de Kashkazi) repérés pour leur intérêt particulier pour le sujet et leur sérieux pendant la crise, à propos des besoins en information préventive et en

[159] « *Une table ronde pourrait être organisée pour permettre à chaque acteur d'exposer son positionnement sur le sujet et de conclure à une organisation complémentaire des objectifs. Un système de mailing-list incluant les responsables de projet de chaque institution permettrait de suivre les évolutions des projets respectifs pour une adaptation et une organisation optimale des objectifs des uns et des autres. Il y a beaucoup de travail à accomplir ; ainsi la complémentarité de ces différents projets devrait être considérée comme une grande chance plutôt que comme une mise en concurrence. C'est en ce sens qu'il est important de mettre rapidement au point une coordination forte et pérenne.* » (Extrait de la note transmise au directeur du COSEP en mai 2007).

communication de crise, et le rôle crucial des médias dans cette optique ;

- auprès du Croissant-Rouge Comorien et de la Croix-Rouge Française à Moroni à propos du renforcement des capacités d'intervention et du besoin de sensibilisation des populations et institutionnels. La réflexion commune engagée avec le responsable de la Croix Rouge mène à la rédaction pour partie conjointe du projet pilote Karthala ;
- avec le Résident Adjoint des Nations Unies à Moroni pour une synthèse globale sur le renforcement nécessaire du réseau de l'OVK, les problèmes de coordination des instances de Protection Civile, le besoin de campagnes de sensibilisation des populations et de formation des acteurs de la gestion - à commencer par les journalistes -, et la nécessité de mise en place d'un projet fédérant les acteurs autour de la réduction du risque volcanique en Grande Comore. La possibilité d'organiser un colloque international à Moroni a été évoquée dans cette optique. Cette demande, d'abord rejetée car jugée irréalisable, a porté ses fruits en 2008[160]. Fin juin 2006, les Nations Unies débloquent 200 000 $ pour un programme d'un an mené conjointement par le PNUD, l'ISDR et OCHA, dont 60 000 $ réservés à l'amélioration du réseau de surveillance du Karthala.

Ce RETEX a donc permis une avancée modeste de la gestion des risques volcaniques sur l'île en participant à la conscientisation et à l'implication des acteurs dans cette thématique, à l'établissement de liens entre ces acteurs, et à la germination ou à l'élaboration directe de certains des projets de réduction du risque mis en place à cette période en Grande Comore (synthèse des projets en Annexe 20).

### 2.3.2. Une évolution fragile de 2006 à 2011

On note la dégradation d'un unique facteur au cours de cette période, une stagnation de 43% des facteurs, et une amélioration de 46% d'entre eux (Tableau 27). Cette amélioration est due à une sensibilisation et à un gain d'expérience de l'ensemble des acteurs lors des crises de 2005 à 2007, et aux nombreux programmes de réduction des risques mis en place consécutivement à ces éruptions (Annexe 20). Pour autant, encore 60% des facteurs revêtent un potentiel crisogène fort à très fort, 32% un potentiel modéré, seul un facteur a un potentiel faible. Cela indique que les progrès réalisés sont modérés et que la plupart des défaillances relevées en 2006 sont restées suffisamment tenaces pour favoriser la survenue de crises. Il convient donc de relever les dysfonctionnements restants et de formuler un certain nombre de suggestions pour l'amélioration de la gestion des risques et des crises.

**L'OVK** a connu de grandes avancées au cours de ces cinq années avec un réseau de surveillance largement étoffé en 2007 (nouvelles stations inclinométriques, sismiques et $CO_2$), l'équipement d'une seconde pièce contigüe à l'OVK en 2008, la mise à disposition d'un véhicule par le PNUD, puis l'installation de 25 panneaux solaires conférant une autonomie énergétique à l'OVK alors qu'en 2007 les coupures fréquentes en alimentation électrique empêchaient de mener l'activité de surveillance en continu. Les Nations Unies financent par ailleurs deux travailleurs à l'OVK (un électronicien et un géophysicien) mais en contrepartie le SCAC a retiré son VCAT. Ces effectifs restent insuffisants pour faire face à une crise dans la durée. Malheureusement, le réseau de surveillance a de nouveau été vandalisé en 2011 et 2012. Le plus préjudiciable est le vol de la station relais par laquelle transitaient les données de presque toutes les stations : l'OVK est à nouveau sourd malgré le déploiement de tous ces efforts, et les partenaires sont de plus en plus réticents à financer la remise en état d'infrastructures régulièrement dégradées. En 2012, le

[160] L'éruption de 2007 a entre temps avivé la crainte d'éruptions semestrielles, donc la nécessité potentielle d'un engagement plus grand dans la réduction des risques ; une dynamique positive est par ailleurs à l'œuvre à partir de 2007 autour de la réduction du risque volcanique.

COSEP et l'OVK ont prévu une action conjointe de sensibilisation dans les villages pour tenter de résoudre ce problème, tellement sensible qu'il a été inscrit à l'ordre du conseil des ministres fin 2011. Pour pérenniser l'existence de l'OVK, il y a une réelle nécessité que les autorités comoriennes investissent dans l'observatoire, notamment en créant des postes permanents pour des personnes qualifiées (dont un volcanologue ou un sismologue). Les compétences actuelles des personnels de l'OVK et le matériel à disposition restent insuffisants pour envisager une autonomie dans le traitement et l'acquisition des données (pas de traitement possible des données extensométriques par exemple). La mise en sécurité du réseau de surveillance s'impose à travers une sensibilisation des populations d'une part et le maintien d'actions de protection et répression contre le vol d'autre part.

Des progrès ont été réalisés par **les autorités comoriennes** notamment avec le déploiement de moyens pouvant profiter à la Protection Civile (en particulier un hélicoptère) et une amélioration modeste de la connaissance du système de gestion de crise par les gestionnaires. Le manque de coordination au niveau national subsiste toutefois. Il est même cité dans le PNPRU dans lequel il est attribué à la désorganisation administrative, la mauvaise gestion des ressources humaines et au manque de formation. Il est d'ailleurs surprenant qu'un plan de gestion des urgences énumère en son sein les raisons qui l'empêchent d'être correctement mis en application ! Principal point critique encore à l'heure actuelle : l'absence des stocks d'urgence décrits dans ce plan. La liste de ces stocks a d'ailleurs été recopiée telle quelle dans la version du PNPRU actualisée en novembre 2007. Sur le terrain, un réseau de volontaires a été formé par le Croissant-Rouge appuyé par la Croix-Rouge. Les volontaires ont été dotés d'un kit censé permettre de réagir en cas de crise : un téléphone satellite pour joindre l'OVK et le COSEP, un drapeau rouge, un sifflet, un mégaphone, une trousse de premiers secours, et dans les villages les plus exposés des bâches pour couvrir les citernes. La politique de gestion des risques et des crises est toujours presque intégralement tributaire des aides extérieures, ce qui implique des problèmes de pérennité des moyens mis en place[161]. Malgré les progrès réalisés de nombreux points à fort potentiel crisogène restent problématiques. L'évolution souhaitable de la situation repose sur la nécessité d'une formation des personnes en charge de la gestion (aux bases de la gestion et à l'utilisation du PNPRU), et sur la mise à disposition de budgets suffisants (pour faire fonctionner dans de bonnes conditions un corps de protection civile et constituer les stocks nécessaires à la gestion des urgences).

**Les médias** ont également réalisé des progrès conséquents, notamment grâce à la formation de 60 journalistes à la communication de crise. En 2008, les questions posées lors du colloque « Maitrise et Valorisation du Karthala » révèlent toutefois une compréhension très insuffisante du risque volcanique chez certains journalistes. Sur le plan technique, la couverture médiatique reste par ailleurs précaire, voire inexistante, dans certaines zones de l'île, en particulier à l'est de l'île.

Des campagnes de sensibilisation ont permis à une partie de **la population** de recevoir des informations sur les risques volcaniques. Les enquêtes montrent toutefois que le comportement des populations resterait problématique en cas de nouvelle crise, des mouvements spontanés de population semblant inévitables. Une sensibilisation des populations à ces problématiques doit être envisagée, accompagnée de propositions de solutions alternatives. En 2006, plusieurs entretiens ont révélé l'importance des médias

[161] D'une part car les partenaires internationaux montent le plus souvent des projets à court ou moyen terme puis se retirent. Ils envoient d'ailleurs souvent des experts sans aucune connaissance du milieu local pour mener des évaluations express des risques : en 2007 puis en 2009 les experts volcanologues des Nations Unies ont ainsi occulté le risque explosif et le risque d'éruption au niveau des villages. D'autre part, certaines tensions entre bailleurs peuvent intervenir : les éruptions de 2005 ont par exemple déclenché une prise en charge appréciable par les Nations Unies de projets de réduction du risque volcanique en Grande Comore, cassant le système « traditionnel » de financement de l'OVK par l'Ambassade de France - moindre mais régulier depuis 20 ans.

dans les processus d'information des populations de Grande Comore en temps de crise[162]. Cela doit amener à réfléchir sur la possibilité d'une sensibilisation de masse par voie télévisuelle ou radiophonique, plus prompte à toucher les populations que des campagnes d'information ponctuelles.

### 2.3.3. Bilan de la gestion des crises volcaniques en 2011 : des débuts hésitants mais encourageants

Les éruptions survenues depuis 2005 ont montré que la Grande Comore peut être entièrement et fréquemment exposée aux aléas volcaniques. Les éruptions de 2005 auraient immédiatement dû mener le pays à un meilleur niveau de préparation mais les efforts faits pour améliorer la situation ont été insuffisants comme l'a révélé la crise de mai 2006. L'analyse de cette crise a fourni des informations précieuses sur les déficiences qui accroissent la propension aux crises en cas d'éruption. Cette analyse est d'ailleurs transposable à tout autre type d'aléa naturel ou technologique. Les préconisations en matière de réduction des risques volcaniques restent malheureusement les mêmes en 2011 qu'en 2006. La gestion pratique des événements est très éloignée de leur gestion théorique en raison du manque de moyens concrets d'intervention et d'information adéquate des acteurs. On pourrait presque considérer toute éruption du Karthala comme une crise « acquise », les capacités nationales étant dépassées même en l'absence d' « événements dépassants ». Les efforts engagés pour la réduction des risques et les volontés d'engagement exprimées par les institutionnels et les populations sont toutefois encourageants. La troisième partie de ce mémoire fournira quelques clefs pour favoriser la concrétisation efficace de ces efforts et volontés.

[162] « *Depuis le début des événements nous ne loupons plus le journal de 20h pour voir comment la situation évolue* ».

## 3. LES LAHARS A VOUVOUNI DEPUIS 2005 : GESTION D'UNE CRISE DURABLE

Le choix d'une étude approfondie des crises à l'échelle communautaire s'est porté sur Vouvouni, village du sud-ouest de la Grande Comore le plus affecté par les lahars consécutifs aux éruptions de 2005. Ce choix a été conforté par 1) les requêtes de la majorité des villageois de Vouvouni interrogés en mai 2006 [Morin 2006], se sentant démunis face aux lahars et réclamant des études sur la question et des moyens d'y faire face ; 2) la proximité de Moroni permettant d'optimiser les déplacements sur le terrain. Ahmed Soilih [2006] a énuméré dans son mémoire de Master certain des impacts des lahars à Vouvouni, sans toutefois les géolocaliser. Depuis, malgré la récurrence des événements dommageables, aucune étude n'a été publiée sur le sujet. Il n'existe par ailleurs aucune cartographie de l'aléa lahars en Grande Comore[163], pas plus qu'à l'échelle des villages touchés. Ce travail entend combler au moins partiellement ces carences. Marie Trouvé, stagiaire de M1 de l'Université de Strasbourg, a contribué aux observations de terrain et aux entretiens en 2009.

### 3.1. VOUVOUNI, VILLAGE FAVORISE A PROXIMITE DE MORONI

Vouvouni est un village du piémont occidental du Karthala, traversé par trois cours d'eau intermittents qui prennent leur source dans la zone sommitale du volcan, dont deux se rejoignent au sein du village (Figure 88). Ils sont marqués par des écoulements essentiellement au changement de saison entre kashkazi et kusi, en avril-mai. Ils ne sont que partiellement représentés sur la carte topographique, s'arrêtant à environ deux kilomètres en amont du village. Les crues occasionnées par le passage des cyclones Gafilo et Elita en 2004 ont rappelé leur présence alors qu'au cours des années précédentes beaucoup de Vouvouniens avaient construit dans les zones d'extension des crues (un risque d'ailleurs ignoré du PNPRU dans lequel aucune mention des crues n'est faite).

Selon le recensement général de la population de 2003, Vouvouni regroupe 3539 habitants répartis en 549 ménages, dont 49% de femmes et 16% d'enfants de moins de cinq ans. Les autorités du village recensent quant à elles environ 7000 habitants en 2009. Les conditions de vie quotidienne des Vouvouniens ont été étudiées via l'approche des moyens de subsistance durable en prenant en compte les capitaux humain, social, naturel, financier et physique. Comme tout village grand comorien, Vouvouni s'organise en premier lieu autour de clans de Grand Mariage et d'une commission de la notabilité, puis de clans familiaux (lignées) et d'associations (de femmes, socio-culturelles, de diaspora). L'organisation sociale relève de la coutume et est marquée par un lien social très fort des habitants au village. Les ménages dépendent largement des ressources sociales provenant des réseaux horizontaux (relations entre ménages, familles, voisins), desquels sont exclus les Anjouanais. En temps de crise, des stratégies de coopération s'illustrent par le renforcement des réseaux horizontaux et la mise en place de réseaux verticaux (aide du CRCo, des organismes internationaux). Pour subvenir aux besoins quotidiens, les habitants ont des activités variées qui traduisent des compétences polyvalentes : essentiellement agriculture de subsistance et élevage, mais aussi commerce (souvent informel), artisanat, travaux du bâtiment, ramassage du sable, bureaucratie… Les flux financiers mensuels sont caractérisés par une grande irrégularité du fait de la saisonnalité des activités économiques (fortement liée au Grand Mariage et à la Diaspora qui constitue la source de financement la plus élevée dans tous les projets). Parmi les ressources naturelles, la pierre volcanique essentiellement basaltique est utilisée pour la construction, la fabrication d'ustensiles, l'assimilation des eaux usées (problématique depuis l'imperméabilisation des sols par les cendres des éruptions de 2005). Le

[163] Mais une cartographie des zones d'emprise actives en 2010 (Figure 91, p.247).

sable volcanique[164] est également utilisé pour la confection de ciment et de briques. Un four à brique a d'ailleurs été construit en 2007 au village pour répondre aux promesses électorales du Président Sambi de fournir un accès à moindre prix aux matériaux de construction.

Vouvouni abrite deux stations de pompage qui lui confèrent un rôle régional. Ces stations desservent en eau 12,8% de la population de l'île aux alentours de Moroni [UNICEF 2007] et offrent à l'ensemble des Vouvouniens un accès gratuit à l'eau courante, situation d'exception sur l'île. Le village est également traversé par la route nationale, infrastructure clef pour l'accès aux moyens de subsistance, qui permet un accès direct à Moroni à 5 km au nord. La station essence du village permet un approvisionnement en carburant pour tout le voisinage. Comme dans de nombreuses autres localités, les réseaux de télécommunications fonctionnent mal et les coupures d'électricité sont quotidiennes. Le bois est massivement utilisé pour la cuisine et l'éclairage ce qui contribue à la déforestation massive de la forêt du Karthala en amont du village.

Les entretiens réalisés à Vouvouni (E-GC4) montrent que les plus grandes difficultés quotidiennes rencontrées par les villageois sont : (1) le chômage et les arriérés de salaire pour ceux qui ont un emploi ; (2) l'alimentation : trouver de quoi manger plusieurs fois par jour et faire face à la hausse du prix des denrées alimentaires ; (3) le coût de la santé, notamment des soins contre le paludisme ; et (4) les lahars qui compliquent la vie quotidienne en renforçant les vulnérabilités préexistantes. Les principaux dangers auxquels les Vouvouniens se sentent confrontés sont : (1) la poussière et les lahars apportés par le volcan ; (2) les maladies ; et (3) ex-aequo : les conflits entre villages et la vie financière. Malgré une identification commune des menaces, il n'existe pas de plan de gestion au niveau local pour y faire face. Les infrastructures du village et moyens mobilisables en cas de crise ont toutefois été cartographiés participativement par les habitants (Figure 88).

[164] Epiclastique seulement, il n'y a pas à notre connaissance d'exploitation de dépôts de retombées non remaniés sur l'île.

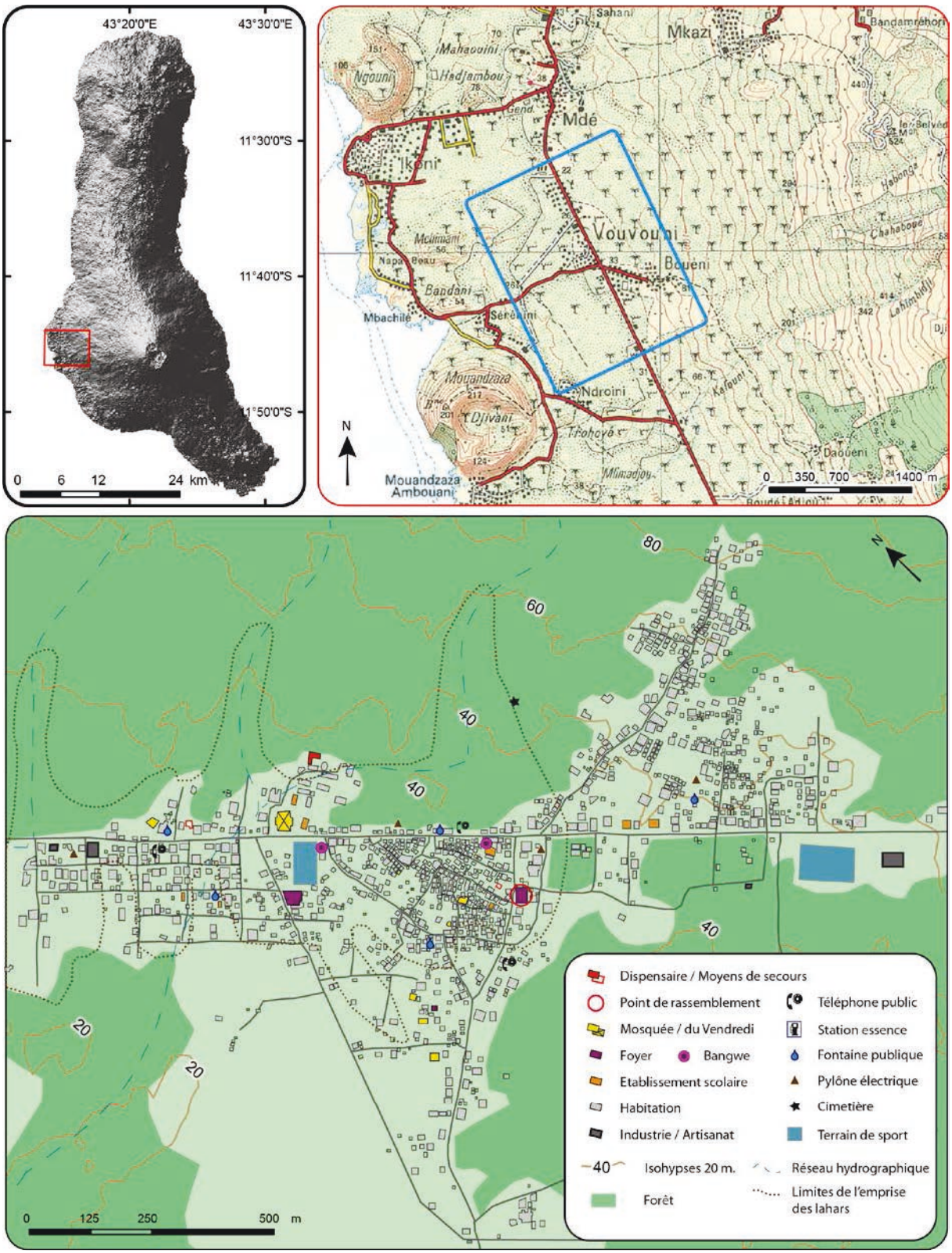



*Figure 88 - Localisation de Vouvouni et des principales infrastructures identifiées par ses habitants (MNT GDEM ; carte topographique IGN au 1:50 000 ; fonds de carte : photo-interprétation sous Google Earth (2009), données issues de la cartographie participative projet CRF-CRCo 2008)*

## 3.3. LES LAHARS, ALEA « NOUVEAU » CONSECUTIF AUX ERUPTIONS DE 2005

Désignés sous les termes «coulées de sable », « coulées de boue », « coulées de cendre » ou encore « coulées d'eau » par les populations (« mro madji »[165] en comorien), les lahars sont devenus depuis les éruptions de 2005 l'aléa naturel majeur en terme de fréquence et d'impact en Grande Comore.

### 3.3.1. Description de l'aléa

#### ❖ *Origine de lahars*

Une des caractéristiques hydrologiques de la Grande Comore est l'inexistence de cours d'eau pérenne liée à la grande perméabilité des roches volcaniques récentes. Krafft [1983] évoque 1341 mm de pluie tombés sur Moroni du 27 au 29 juin 1972 « sans provoquer le moindre ruisseau ou mare ». Les éruptions de 2005 ont profondément modifié ce fonctionnement. Le dépôt de grandes quantités de cendres contribue en effet à déstabiliser le cycle hydrologique des régions affectées par les éruptions volcaniques [Todesco et Todini 2004]. Au Karthala, les retombées aériennes des éruptions d'avril et novembre 2005 (dont le volume estimé est supérieur à 50 millions de $m^3$ par éruption [Morin *et al.* 2009]) ont joué ce rôle. Les sols sont désormais imperméabilisés car recouverts d'une épaisse couche de cendres compactée, de sorte que l'infiltration des eaux de pluie n'est plus possible. Lors des épisodes pluvieux l'écoulement se fait en surface en se chargeant en chemin des produits pyroclastiques accumulés sur les flancs. Il a été possible d'observer le déclenchement de lahars durant des travaux en zone sommitale. Au bout de quelques minutes de pluie seulement, des écoulements boueux surviennent dans les micro-ravines sommitales (Figure 89. A-1 /A-2). Le réseau dendritique sommital se concentre en quelques chenaux d'écoulement qui canalisent ensuite les flux à mesure que l'altitude diminue (A-3 /A-4). Ces chenaux, d'un mètre cinquante de profondeur pour trois mètres de large en moyenne, ne sont toutefois pas suffisants pour contraindre parfaitement les lahars à leur arrivée en zone littorale (A-5 / A-6). En effet, l'absence d'écoulement pérenne en Grande Comore est synonyme d'absence de lignes de drainage prononcées. Les lahars débordent donc aisément et « inondent » plus ou moins indistinctement toutes les zones urbanisées de basse altitude notamment dans le sud-ouest de l'île (A-7 / A-8), y déposant une partie de leur charge solide sur des épaisseurs variables (A-9) avant de se déverser en mer (A10).

[165] Terme également utilisé pour désigner les événements hydrologiques de type crues.

*Figure 89 - Formation et dépôt des lahars au Karthala (clichés J. Morin 2006, A-6 OVK 2005, A-9 F. Finizola 2007)*

### ❖ *Nature des écoulements*

Les lahars survenus depuis 2005 se présentent sous forme d'écoulements hyperconcentrés (entre 20 et 60 % du volume en charge), plus précisément sous forme de coulées de boue cohésives (plus de 7% d'argile). Leur constitution a varié de 2006 à 2009 avec l'amenuisement des matériaux remobilisables sur les pentes : leur charge solide est aujourd'hui bien plus faible, de sorte que l'on peut qualifier de crues la plupart des événements survenus depuis 2008.

La formation de coulées de débris n'a pas été observée depuis 2005. Ces événements ont toutefois déjà eu lieu sur l'île. Pour certains répertoriés sur la carte géologique sous l'appellation « alluvions-colluvions » [Bachèlery et Coudray 1993] et parfaitement identifiables sur le terrain comme en photo-interprétation sous Google Earth, on les retrouve principalement sur la côte Est à Itsikoudi et au Nord de Pidjani (Figure 90).

Au Nord de Pidjani, on peut les dater relativement puisqu'ils sont antérieurs à la conception de la carte géologique et postérieurs à celle de la route. On peut ainsi déterminer avec certitude qu'ils ont été alimentés par des éruptions explosives historiques récentes (comme celles de 1952 ou 1991), même si les produits d'éruptions antérieures ont pu contribuer à leur alimentation. On retrouve par exemple encore aujourd'hui sur les flancs les dépôts de l'éruption datée par $^{14}C$ sur bois carbonisés à 2390 BP [Nassor 2001]. Des éruptions explosives déposant des matériaux grossiers sur les pentes pourraient à nouveau occasionner ce type d'événements.

*Figure 90 - Route détruite par une coulée de débris sur la côte est de la Grande Comore, au nord de Pidjani et photo-interprétation des lahars sur la zone à partir de Google Earth (clichés J. Morin, avril 2007 ; fonds de carte Google Earth 2009 ; date de l'événement inconnue)*

### ❖ *Fréquence et extension des lahars*

Les témoignages des Grand Comoriens et nos observations de terrain indiquent que l'ensemble de la côte sud-ouest a été affecté dès 2006, de M'De jusqu'à Mitsoudje. Des lahars se sont également produits sur la côte est de Foumboudzivouni à Bandamadji (Figure 91), sans toutefois se déclencher aussi souvent ni envahir les zones urbanisées comme sur la côte sud-ouest. L'épaisseur des dépôts pyroclastiques hors-caldeira, variable d'un flanc à l'autre, joue probablement un rôle sur l'extension occidentale du phénomène. Les isopaques de 2005 [Smietana 2007] indiquent en effet une orientation vers l'ouest des retombées de novembre 2005 dont les dépôts dépassent 50 cm à près d'un kilomètre de la bordure occidentale de la caldeira alors qu'ils sont parfaitement contraints dans cette dernière à l'est. A cela s'ajoutent un total de précipitations plus élevé et des pluies plus violentes sur le flanc occidental. Malheureusement, aucun seuil pluviométrique de déclenchement des lahars en Grande Comore n'a pu être défini. L'indépendance des Comores a marqué l'abandon progressif de l'enregistrement régulier de nombreuses données scientifiques, parmi lesquelles les données météorologiques. Aucune donnée journalière n'est disponible de 2000 à 2008, de nombreuses données sont manquantes les années suivantes, et aucune donnée horaire n'est disponible (Météo Moroni, com. pers., 2009). Il est donc pour l'heure impossible de corréler - si ce n'est empiriquement - l'occurrence des lahars et celle des épisodes pluvieux sur l'île.

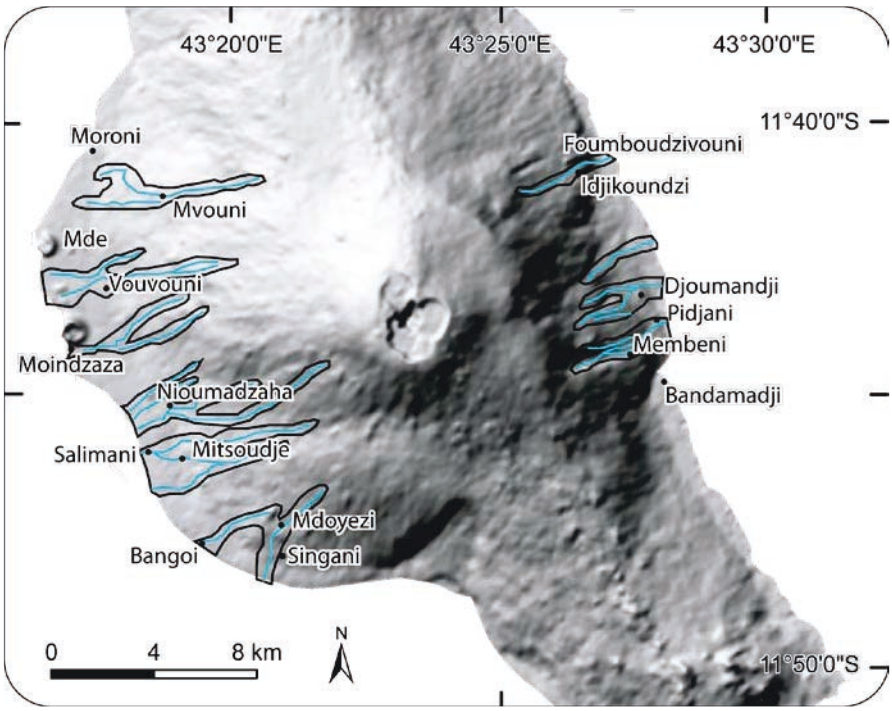



*Figure 91 - Cartographie des zones d'emprise des lahars et crues survenus en Grande Comore en 2010 (données de terrain Hamid Soule, 2010, com. pers.)*

On sait simplement que dans le Bambao des coulées syn-éruptives se sont produites dès l'éruption d'avril 2005, qu'elles se sont formées depuis en moyenne quatre fois par mois selon les enquêtes, et qu'elles gagnent en extension et intensité lors des épisodes pluvieux plus intenses. On observe par exemple un doublement des surfaces d'emprise des lahars dans Vouvouni (Figure 95) en lien avec les pluies diluviennes qui se sont abattues sur les Comores en avril 2009 (4 jours de pluies supérieures à 100 mm, 2 jours > 150 mm, 3 jours > 200 mm ; Figure 92).

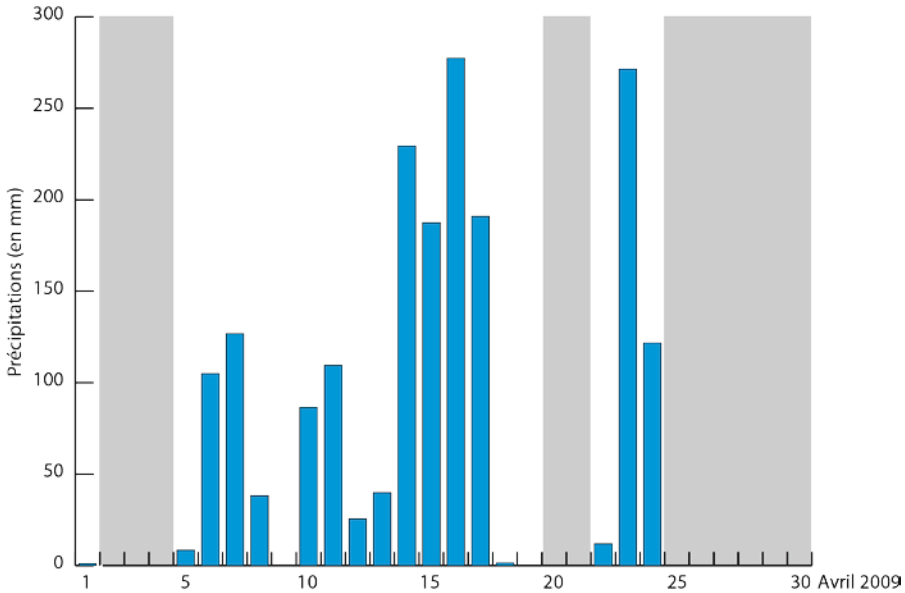



*Figure 92 - Pluviométrie à Moroni en avril 2009 (d'après données Météo Moroni, cumul des précipitations de 7h à 7h le lendemain ; les zones grisées signifient l'absence de données)*

Les lahars les plus importants, survenus les 15-16 et 17 avril 2009, ont atteint Vouvouni 4h après le début des précipitations dans ce même village. Les écoulements ont atteint leur débit de pointe environ 8h plus tard. D'autres observations de terrain ont permis d'observer un temps de réponse entre le début des pluies et le début de l'écoulement des lahars à Vouvouni entre 4 et 11h, avec un débit de pointe de 2 à 4h plus tard, et une durée d'écoulement moyenne d'environ 6h. Le manque de stations correctement réparties sur les flancs du Karthala, et de moyennes pluviométriques horaires, ne permet pas de qualifier plus précisément les temps de réponse, pourtant importants dans l'optique d'une gestion de crise.

### 3.3.2. Impacts des lahars à Vouvouni

#### ❖ *Des impacts variés plus ou moins réversibles*

Vouvouni a été le premier des villages atteints par les lahars en 2005, et le plus durement touché depuis. D'abord limités aux champs situés en amont, les lahars se sont étendus à partir du 20 février 2006 à la moitié nord du village, générant des impacts divers (Figure 93) dont la description, tirée des observations de terrain, entretiens et articles de presse, est proposée en Tableau 28. Une tendance à la décroissance dans l'ampleur des dégâts occasionnés était notable depuis l'été 2006, mais en 2009 Vouvouni a de nouveau été très durement touché par les événements. Plusieurs centaines d'habitations et milliers d'individus sont concernés à des degrés divers.

*Tableau 28 - Caractérisation synthétique de l'endommagement lié aux lahars à Vouvouni à partir de 2005*

| Enjeux | Description de l'endommagement et références aux clichés de la Figure 93 | Conséquences (et risques associés) |
|---|---|---|
| **Personnes** | **Pas de mort ou blessé** à Vouvouni (3 morts emportés par les coulées de boue depuis 2006 sur l'île) | Risque vital (ex du 05/06/06 : difficultés à résister au courant avec de l'eau jusqu'à mi mollet) |
| | En mars 2006 **villageois coincés par la boue dans les maisons** ; **pris par surprise** par les lahars **la nuit** | Difficultés à évacuer ; prise en charge difficile des personnes âgées et handicapées<br>Conséquence psychologiques (peur de mourir marquée en 2009) ; |
| | **Sans-abris** | En 2006 : environ 100 personnes hébergées chez des voisins, 200 vivant dans des logements sinistrés, 40 parties de Vouvouni. En 2009, 540 personnes environ hébergées dans d'autres foyers, soit 15% de la population du village déplacée ; mauvaises conditions de logement, foyers surchargés (jusqu'à 20 personnes sous le même toit en 2006, un seul sanitaire pour tous) ; Vie quotidienne compliquée > risque sanitaire / épidémique |
| | **Développement de maladies en lien avec les conditions de vie** | Emergence de conjonctivites liées à la poussière volatile laissée après séchage de la boue<br>Gastroentérites liées à la pollution du réseau d'eau, aux déchets éparpillés et aux foyers surchargés<br>> risque épidémique |
| | **Tensions sociales** (conflits d'usage autour de la réduction du risque de lahar et de l'exploitation des dépôts) | Risque de dégénération des conflits inter-villageois |
| **Bâti et biens** | 2005-2006 :<br>**Boue dans et autour des bâtiments** (I-1/ I-2) : 50 cm en moyenne à l'intérieur des maisons par événement, jusqu'à 1,5 m à l'extérieur; murs détruits dans les cours ; meubles déplacés dans les maisons témoignant de la violence du flux ; trois maisons entièrement ensevelies en 2005 (2,5 m de boue) ; intégralité du quartier ambassadeur touché dès 2006. | - Mobilier et biens perdus ;<br>- Maisons et lieux de vie inoccupables / périodiquement inaccessibles ; 38 maisons touchées et 10 maisons inhabitables en 2006 [Ahmed Soilih 2006], une soixantaine en 2009 (2/3 des maisons d'Ambassadeur abandonnées) ; accueil des sinistrés dans les foyers épargnés ou moins sinistrés<br>> risque épidémique<br>- Capacités de gestion de crise réduites (premiers secours, lieux de rassemblement, principaux lieux de vie de la communauté dans la zone d'emprise des lahars) |
| | **Inondation et envasement des cuisines et latrines** (I-3) ;<br>**Pollution des citernes d'eau et ordures éparpillées** (I-4) | - Résurgence des eaux usées > risque épidémique<br>- Une fois la boue séchée, poussière omniprésente dans les maisons > risque sanitaire<br>- Vie quotidienne rendue difficile<br>- Eau des citernes turbide, impropre à la consommation |
| | 2009 : extension du phénomène, endommagement au bâti doublé (en nombre de bâtiments et surface) | - Lieux sûrs réduits ; |
| | **Inondation de la station essence** | - Eau dans la citerne > risque de pollution aux hydrocarbures |
| **Réseaux** | **Route nationale coupée** (I-6); **ou encombrée** par des débris minéraux et végétaux | - Connexité réduite au sein du village et entre Vouvouni et les autres localités, déplacements rendus difficiles ou impossibles (impact déclaré comme le plus invalidant pour la majorité des interviewés) ; temps de trajet du Washili à Moroni doublés en 2009 > risques pour les usagers des réseaux ; isolement potentiel de Vouvouni |
| | **Ennoiement des rues du village et des chemins d'accès aux champs** | - Perturbation de toutes les activités quotidiennes et génératrices de revenus (agriculture, vente, commerce, restauration, taxis…) |
| | **Destruction partielle du réseau d'adduction d'eau**, par endroits inaccessible (sous la boue) ; | - Réseau d'eau potable souillé ; problèmes d'hygiène > risque de contamination du réseau d'eau, risque sanitaire |
| **Activités** | **Champs embourbés** (I-5) ; **jonchés d'ordures** | - Destruction directe des cultures (bananiers, orangers, vanille, tubercules…) : 29 parcelles non cultivables sur les 52 parcelles recensées touchées en mai 2006, 44 parcelles détruites en avril 2007 [UNICEF 2007] ; animaux morts ou malades (4 propriétaires).<br>- Baisse de productivité sur certaines parcelles (250 cocotiers ont cessé de produire en 2006).<br>- Perte ou diminution des moyens de subsistance, diminution de la production locale, accès difficile à la nourriture (y compris aux produits de base), impossibilité de vendre les récoltes pour acheter du riz, de la viande, du poisson ou autre : insécurité alimentaire ; dettes<br>> Risque de malnutrition / crise alimentaire ; > risque sanitaire |
| | **Locaux et matériel des entreprises emboués** | - Perte du matériel de production, des commandes et des stocks dans les petits commerces (buvette, atelier de menuiserie, ferme d'élevage de poulets et vaches laitières) ; fermetures provisoires (station essence) ou définitives, sans relocalisation ; pertes financières ; dettes ; > risque financier |
| | **Répercussions des ruptures de réseau** sur les activités | - Perte temporaire de fonctionnalité (activités bloquées : taxis, petits commerces) |
| | Trois **salles de classe détruites** (I-2) | - Arrêt des activités éducatives pour la centaine d'enfants dont les écoles ont été touchées |
| **Environnement** | Modification du réseau hydrologique, extension des réseaux de chenaux | - Diminution quantitative des eaux souterraines, les apports en eau pluviale ayant diminué.<br>- Déclaration d'une épidémie de choléra le 26 février 2007 dans des quartiers densément peuplés de Moroni. |
| | | **Mise en place de stratégies de réponse, parmi lesquelles des ouvrages de protection** |
| **Ouvrages de protection** | Canaux et fosses créés en 2006 et 2007 bouchés ;<br>Digue de protection du quartier ambassadeur emportée en avril 2009 ;<br>Murets | - Augmentation de la charge ; faux sentiment de sécurité |

*Figure 93 - Impacts des lahars à Vouvouni (clichés J. Morin 2006-2007)*

### ❖ *Cartographie des dépôts de lahars, impacts majeurs et ouvrages de protection à Vouvouni*

Comme indiqué en méthodologie, il n'a pas été possible de réaliser une cartographie exhaustive des lahars en Grande Comore, pas plus qu'à Vouvouni. L'actualisation de Google Earth en octobre 2011 (avec la mise à disposition d'images de la zone datant du 22/04/2009) permet cependant d'observer certaines des zones de dépôt, dont le périmètre est présenté en Figure 94. Leur épaisseur maximale (3,5 m) est atteinte dans les champs qui jouxtent la route nationale (photo I-5 Figure 93). Le chenal d'écoulement qui traverse l'entrée nord du village est désormais parfaitement visible (Figure 94).

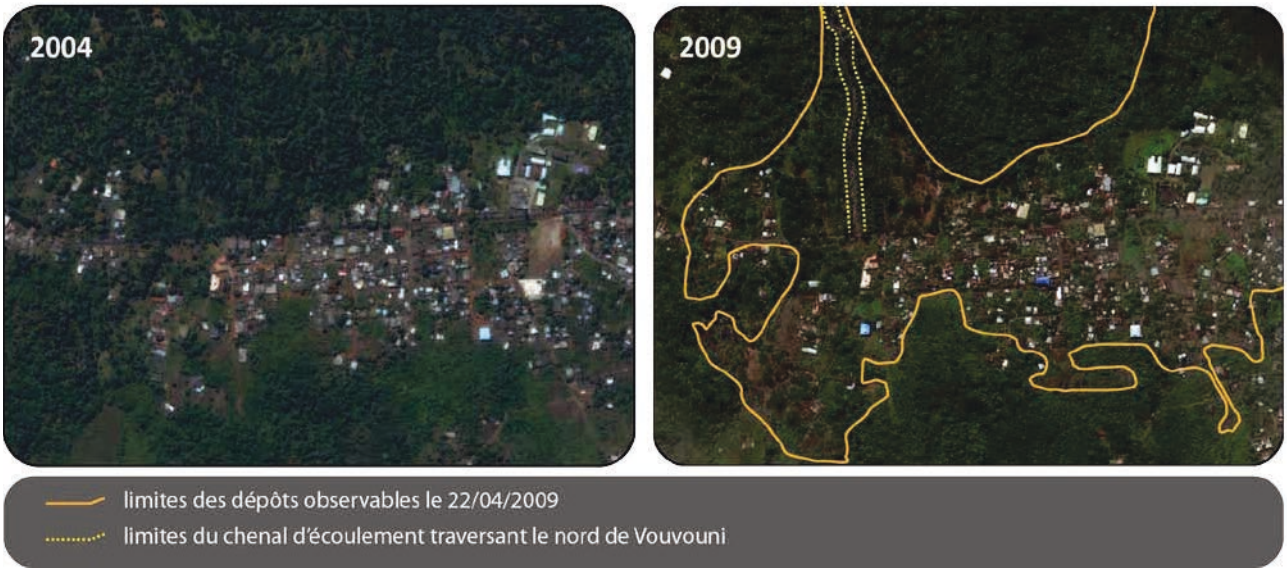



*Figure 94 - Traces du passage des lahars sur le nord de Vouvouni en avril 2009 (photo-interprétation des images Google Earth des 21/08/2004 et 22/04/2009)*

Pour pallier l'absence de cartographie systématique, une cartographie participative a été réalisée sur le terrain selon les modalités décrites en méthodologie. Le résultat est présenté en Figure 95. Les surfaces recouvertes par les lahars définies participativement (en gris) sont supérieures à celles relevées sur le terrain (en bleu). Les villageois vivent l'intégralité des événements et connaissent avec précision leur extension aussi bien dans le village que dans les champs où ils vont travailler en amont, même lorsque tout indice a disparu. Les indications qu'ils donnent suivent d'ailleurs quasi parfaitement les talwegs alors qu'ils les ont indiquées sur une photographie aérienne où ceux-ci n'étaient pas repérables. Ils fournissent ainsi des indices fins et fiables connus d'eux seuls du fait de leur usage quotidien et constant du territoire. Ils se révèlent les mieux placés pour établir une cartographie de l'emprise des lahars et leurs impacts à Vouvouni.

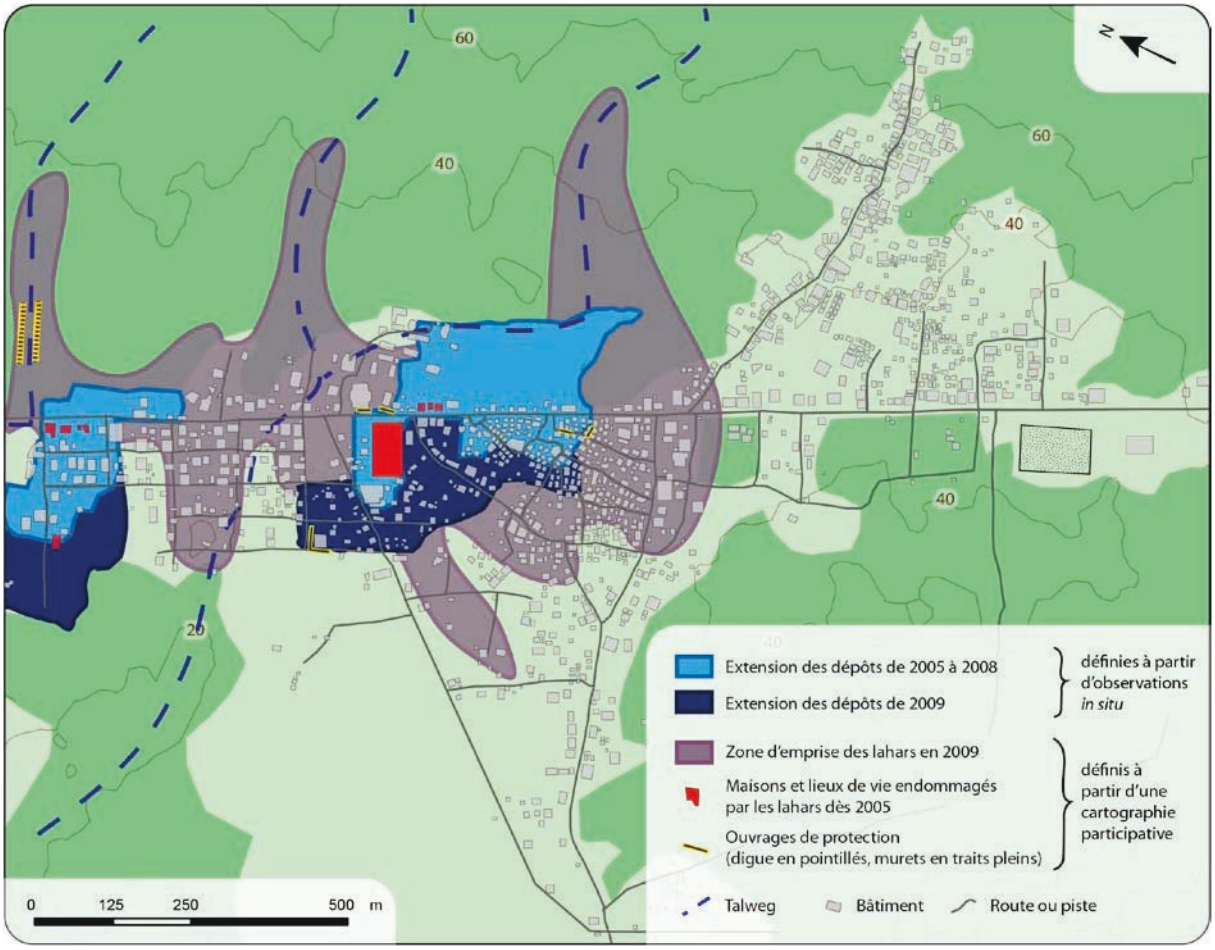



*Figure 95 - Cartographie synthétique des dépôts de lahars à Vouvouni (données issues d'observations de terrain de 2006 à 2009 et d'une cartographie participative réalisée en 2009)*

La cartographie montre que 47,2% des 1292 bâtiments et lieux de vie de Vouvouni sont situés dans la zone d'emprise des lahars. Cent-quarante-six bâtiments ont été endommagés par les lahars de 2005 à 2008, soit 11,3% des bâtiments du village. La plupart ont dû être abandonnés (dont 9 dès 2005 selon les entretiens, en rouge Figure 95) en raison de leur ensevelissement total ou de dégâts répétés les rendant inoccupables. Cent-quarante-trois bâtiments supplémentaires ont été endommagés par les lahars de 2009. Au final près du quart du bâti du village a subi des endommagements à des degrés divers et près de la moitié des bâtiments sont concernés par des écoulements réguliers. Six-mille-six-cents mètres de route sont également situés dans la zone d'emprise des lahars, dont 1132 m de la route nationale qui permet l'accès à Moroni.

En couplant cette cartographie de l'aléa à la cartographie participative des enjeux, on observe que la plupart des lieux de vie sont également dans des zones impactées, y compris le point de rassemblement désigné pour les situations de crise (pointillés marron Figure 88). La définition de zones refuge est délicate car elle est pensée à l'échelle de la communauté villageoise et non à l'échelle de « bassins de risque », or, en cas de lahar ou de crue, le village est scindé en plusieurs zones isolées les unes des autres. Désigner une zone-refuge dans la partie méridionale du village, épargnée par les flux, est donc illusoire puisqu'il faut prendre en compte des défauts d'accessibilité. Au sein même de la zone d'emprise des lahars, la mosquée du vendredi est systématiquement épargnée par les événements car ses fondations sont surélevées mais les écoulements autour de l'édifice sont puissants, rendant son accès dangereux. En somme, sans une modélisation hydrologique à très grande échelle, il est difficile d'envisager la définition de points de

rassemblement/refuge abrités. A défaut on peut néanmoins considérer les zones épargnées par les lahars depuis 2005 comme zones les plus sûres. En revanche, toute nouvelle éruption occasionnant des dépôts sur les flancs impliquerait une redéfinition des zones refuge.

## 3.4. LES REPONSES FACE AUX LAHARS A VOUVOUNI : DES TENTATIVES DE GESTION DU RISQUE A L'ATTRAIT DE LA RESSOURCE.

### 3.4.1. Des réponses institutionnelles minimes et tardives à tous les niveaux

#### ❖ *Des réponses « réactives[166] », insuffisantes et pensées sur le court terme*

Averties dès 2005 du risque encouru, les autorités ont fait preuve d'un immobilisme total jusqu'à la survenue des premiers lahars : aucune mesure préventive n'a été entreprise pour la sauvegarde de Vouvouni ou de ses habitants. Fin février 2006, après le premier épisode d'endommagement lourd de Vouvouni, aucune solution n'est proposée aux populations malgré les visites des autorités de l'Ile et de l'Union. La polémique enfle sur l'absence d'implication du service de génie civil de l'armée [Abdallah 2006]. En réponse, le 4 mars 2006, la Protection Civile annonce la mobilisation de l'AND. Trois niveaux d'action sont prévus : une mobilisation immédiate des militaires pour mener des travaux de déviation des torrents pour protéger les zones habitées, des travaux d'endiguement et de creusement réalisés en réponse à chaque coulée de boue selon la configuration du terrain, un effort de curage des lits pour permettre l'écoulement normal des cours d'eau. Outre le fait qu'elles ne seront pas mises en œuvre, ces propositions révèlent une absence flagrante de réflexion sur le long terme. La Protection Civile préconise par ailleurs l'arrêt provisoire de l'utilisation du sable extrait des dépôts de lahars dans l'attente d'une expertise scientifique, en raison de sa toxicité supposée. Les autorités sanitaires parlent de mesure de précaution pour "*s'assurer qu'une exposition longue à ce produit n'aura pas des conséquences sur la santé de la population*" [KES 2006]. Le conseil est très mal accueilli par la population de Vouvouni qui suspecte les industries du concassage de répandre des rumeurs pour s'assurer un monopole dans la vente de produits de construction.

L'aide d'urgence proposée pour un retour rapide à la vie quotidienne normale des sinistrés est dérisoire et n'arrive que deux semaines après le début des événements. Le 4 mars, l'UNICEF met à disposition 5 brouettes et 15 pelles censées permettre d'évacuer la boue et les eaux stagnantes. Les 38 maisons sinistrées sont dotées de 15 matelas et 28 draps. En 2006, 2007 et 2009, la Diaspora apporte également son aide en moyens de déblaiement et en stocks alimentaires (riz et huile) par l'intermédiaire du Gouvernement.

Malgré les visites régulières des institutions (Gouvernements de l'Ile et de l'Union, COSEP, CRCo et partenaires étrangers : Système des Nations Unies, CRF) pour recenser les dommages et besoins des sinistrés au cours des différents événements, aucune aide substantielle supplémentaire n'est apportée. Les autorités proposent même que les populations riveraines curent elles-mêmes les lits des rivières, admettant que les Travaux Publics ne disposent pas en permanence des engins nécessaires à la réalisation de travaux. La décharge des responsabilités sur les populations et l'aveu d'une « incompétence » faute de moyens constituent donc des réponses assumées des autorités. En 2007, la Direction des Impôts apporte toutefois une aide économique au coup par coup en dispensant d'impôts certaines entreprises touchées, notamment la station essence. Il faut attendre 2009 pour que les effets d'annonce soient suivis d'autres

[166] Par opposition à pro-actives.

actes concrets.

Dès le premier lahar en 2006, les villageois opposent une vision prospective à ces aides dérisoires - mais malgré tout bienvenues - pour la réhabilitation. Ils clament le besoin d' « infrastructures de protection lourde ». Seuls les événements des 15-16-17 avril 2009 vont « réveiller » les acteurs institutionnels. Le Président de l'Union en personne vient constater les dégâts à Vouvouni. Les autorités adressent des demandes de financement aux partenaires internationaux (PNUD, UNICEF et UE) pour la reconstruction d'un pont et le creusement d'un canal à l'entrée nord de Vouvouni. Le projet a en fait été établi en 2005 par les ingénieurs de la Direction des Travaux Publics, de l'Eau et de l'Energie (relevant du Ministère des Finances) pour réhabiliter les infrastructures détruites par les cyclones Gafilo et Elita en mars et avril 2004. Ce recyclage de projet est problématique car, en 2009, les données utilisées ne correspondent plus aux réalités du terrain : dans l'intervalle, la moitié de Vouvouni a été envahie par la boue et la morphologie des chenaux hydrographiques et de leurs abords a évolué. Les villageois demandent une modification du projet soulignant la nécessité d'une prise en compte de l'aléa lahar. Leur requête est rejetée pour cause de contraintes administratives et budgétaires. Les partenaires internationaux répondent en revanche positivement au gouvernement et confient à partir de la mi-juin 2009 la réalisation du projet à EGT, une des principales entreprises de construction de l'île. De l'aveu-même du responsable des travaux, ils seront efficaces pour 30 à 40% des coulées seulement car le creusement du lit entraîne une diminution de sa largeur alors que la collecte des eaux se fait beaucoup trop bas dans le village. Enfin, les travaux concernent des parcelles privées sans qu'aucune mesure d'expropriation ou d'indemnisation n'ait été envisagée par l'Etat. EGT doit composer avec les refus des propriétaires privés en créant des déviations du chenal ! Les travaux de réhabilitation sont mal perçus : ils seraient selon certains responsables d'une aggravation des dégâts causés par les coulées survenues après leur commencement : les villageois s'opposent au projet.

#### ❖ *L'absence d'expertise scientifique*

Jusqu'aux travaux de Soule (2010, com. pers.; Figure 91) aucune cartographie des lahars à l'échelle de l'île n'a été réalisée. La cartographie proposée à l'échelle de Vouvouni dans ce mémoire est également inédite. Les lahars n'ont pour ainsi dire jamais été intégrés à la réflexion sur les risques volcaniques. Parallèlement, il n'existe pas de service de gestion des crues en Union des Comores. Seules des études « hydrauliques » sont confiées aux ingénieurs des Travaux Publics pour la réhabilitation des voieries après le passage des cyclones destructeurs. Dans ces conditions, aucun système de prévision, détection ou alerte n'a jamais été pensé, malgré un risque majeur tacitement admis par les scientifiques et autorités et parfaitement perçu par les populations. Plusieurs semaines ont par ailleurs été nécessaires pour répondre aux rumeurs sur la toxicité du sable et les risques de silicose associés à son exploitation, preuve du manque d'institutions scientifiques crédibles dans le pays.

#### ❖ *Une faible résonnance médiatique*

Malgré la récurrence des dégâts et les zones concernées constamment élargies, les lahars n'ont fait l'objet que de cinq publications dans la presse papier depuis 2005, dont quatre dans Kashkazi. Le journal « d'Etat » Al-Watwan ne fait mention que des événements exceptionnels qui ont touché l'archipel en avril 2009 (Tableau 29). Cette absence d'écho traduit le peu d'intérêt suscité par la situation des villages sinistrés.

*Tableau 29 - Articles de presse relatant les impacts des lahars d'avril 2005 à septembre 2011*

| Date | Journal | Localité ciblée | Titre |
|---|---|---|---|
| 23/02/2006 | Kashkazi (n°29, p.5) | Vouvouni | Vouvouni sous une boue d'eau et de cendres (Ahmed Abdallah) |
| 09/03/2006 | Kashkazi (n°31, p.8-9) | Vouvouni | Vouvouni : sous la boue… le sable (Kamal Eddine Saindou)<br>Trois zones inondées, 250 sans-abris (KES)<br>Le sable volcanique est-il un produit dangereux ? (KES)<br>Le « comportement hydrologique » transformé (LG) |
| 08/06/2006 | Kashkazi (n°43, p.5) | Vouvouni | Vuvuni sous la boue (Ahmed Abdallah) |
| 15/06/2006 | Kashkazi (n°44, p.18-19) | Salimani | A Salimani, la pluie a même déterré les morts (Ahmed Abdallah) |
| 20/04/2009 | Al-watwan (n°1300, p.2) | Dzahadjou / Vouvouni | Fortes intempéries<br>Un jeune de Domoni emporté par les eaux (M. Inoussa) |

### ❖ *Les alternatives institutionnelles locales*

La chefferie de Vouvouni a tenté d'apporter des réponses à la fois structurelles et sociales pour faire face aux événements. Dès les premiers lahars en 2006, une Commission villageoise pour les inondations est créée, chargée de veiller à la réalisation de travaux pour réduire l'impact des lahars. Elle désigne un Vouvounien crédible comme interlocuteur des autorités pour toutes les demandes techniques et financières relatives aux lahars : le directeur technique du service des eaux de la MaMwe[167]. Un passage au bulldozer permet de surcreuser le chenal au-dessus du quartier Ambassadeur au nord afin de limiter les débordements, mesure sans aucune efficacité durable puisqu'il est immédiatement comblé par de nouveaux dépôts. Cela est vécu par les villageois comme la conséquence d'un travail inabouti faute de moyens financiers suffisants. En parallèle, le chef de village autorise temporairement à partir du 5 mars un accès au sable gratuit pour tous, y compris sur les terrains privés contre la volonté de certains propriétaires. Cette stratégie est déployée pour débarrasser les champs amont des dépôts de lahars qui les ont comblés afin de restaurer le rôle de champ d'expansion qu'ils ont assumé d'avril 2005 à février 2006. Les propriétaires récalcitrants ont à choisir entre l'ordre du village et le fait d'assumer les dégâts que provoquerait une nouvelle inondation. Cette mesure est évidemment tout à fait insuffisante pour draguer les champs. Enfin, en juin des plans sont établis pour la construction d'un bâtiment en tôle permettant d'accueillir les sans-abris. Le coût rédhibitoire pour la communauté (environ 50 000 euros) met le projet à mal.

En juillet 2007, la Commission rédige un rapport sur les dégâts, remis au gouvernement dans l'espoir d'obtenir des solutions pérennes prises en charge par l'Etat ou les partenaires internationaux. En l'absence d'une réponse rapide, la notabilité de Vouvouni décide la levée d'un impôt exceptionnel obligatoire pour chaque villageois sous forme de ticket d'entrée à des festivités organisées pour financer de nouveaux travaux. Le chenal est à nouveau récuré au bulldozer en mai 2007 et des fosses profondes de 5 m creusées pour jouer le rôle de bassin de rétention. Efficace un temps, puisque le village a été relativement épargné en 2008, ces mesures sont anéanties par les lahars d'avril 2009.

[167] Société comorienne de l'eau et de l'électricité.

La synthèse des facteurs de défaillance (Tableau 30) montre que :

- malgré une connaissance empirique du sujet, aucune mesure n'a été anticipée pour mieux faire face aux lahars : les rares réflexions engagées l'ont été post-catastrophe ;
- la politique de gestion des lahars est essentiellement une addition d'absences de mesures, et que les rares mesures engagées ont été pensées sur le court terme ;
- très peu d'avancées ont été opérées par les institutions dans la gestion des lahars depuis 2005 : aucun des problèmes détectés n'a été résolu, la plupart n'ont même pas été envisagés.

*Tableau 30 - Synthèse des principaux facteurs de défaillance mis en évidence par l'analyse des réponses institutionnelles face aux lahars consécutifs aux éruptions de 2005*

**Evolution de mai 2006 à décembre 2011**

**+** Amélioration **-** Dégradation

**=** Situation inchangée **?** Absence de données

**Potentiel crisogène de chaque facteur en décembre 2011**

Maximal Fort Modéré Faible

| Institution | Facteurs de défaillance dans la gestion des lahars relevés par acteurs en mai 2006 | Evolution 2005-2011 et état actuel |
|---|---|---|
| Autorités nationales | Absence de politique d'aménagement du territoire | = |
| | Absence de mesures structurelles de mitigation de l'aléa, pas de budget dédié à la résolution du problème (absence d'engins de travaux publics pour assumer ces travaux puis recyclage de projet en 2009 pour Gafilo : efficace pour 30 à 40 % des coulées + pas de prise en charge par l'état des problèmes de propriété) | + |
| | Proposent que les populations prennent elles-mêmes en charge le curetage du lit : se dé douanent sur les populations | - |
| | Absence de plan de gestion, pas de prise en compte dans le PNPRU | = |
| | Absence de système d'alerte aux populations | = |
| | Conseils aux populations ne reposent sur aucune expertise (stop extraction sable car toxicité supposée) | ? |
| | Absence d'information préventive aux populations | = |
| | Aide économique de la direction des impôts en faveur de certaines entreprises touchées : absence d'aide économique | - |
| | Aide d'urgence conditionnée par l'intervention des partenaires internationaux, dérisoire et tardive | + |
| Scientifiques | Manque de crédibilité : plusieurs semaines nécessaires pour répondre aux rumeurs sur la toxicité présumée du sable | = |
| | pas d'évaluation et de cartographie du risque (ni avant ni pendant ni après…) - connaissance seulement empirique des zones d'écoulement | = |
| | pas de système de prévision / de gestion des crues | = |
| Médias | Presse muette : seulement 5 publications depuis 2005 | = |
| Institutions locales | Mesures de réduction de l'aléa non pérennes (drainage du chenal) | = |
| | Absence de plan de gestion des risques et des crises à échelle communautaire | + |
| | Autorité coutumière déployée trop tardivement pour gérer l'accès au sable / Création d'une Commission Villageoise sans pouvoir pour veiller à la réalisation des travaux de réduction de l'impact des lahars | = |
| Commun à toutes les institutions | Absence d'anticipation malgré la connaissance d'une occurrence probable de l'aléa | = |

### 3.4.2. Entre mesures de mitigation et attrait de la ressource : des réponses populaires à efficacité variable

Les habitants ont dû apprendre à composer avec cet aléa qui occupe désormais une place importante dans leur vie quotidienne. Les stratégies adoptées pour y faire face sont peu nombreuses et pour certaines en contradiction avec les politiques de réduction du risque qui devraient théoriquement s'imposer. On s'intéresse ici uniquement aux habitants de Vouvouni, les réponses des « non Vouvouniens » s'étant limitées à une observation curieuse des événements dans les villages sinistrés et à des processions de badauds se postant le long des routes lors des fortes pluies pour récupérer le sable déposé sur les parcelles publiques.

#### ❖ *Logiques de protection et stratégies d'adaptation adoptées par les Vouvouniens*

Des mesures de sauvegarde et de réparation, pour l'essentiel non structurelles et souvent peu efficaces, ont été établies à échelle individuelle dès 2006 :

- dans les phases d'urgence : mise en sécurité prioritaire et spontanée des personnes âgées et handicapées
- murets de protection en sacs de sable, en tôles ou parpaings autour des maisons afin de réduire leur vulnérabilité, souvent insuffisants pour contenir les flux (Figure 96 P-3) ; surélévation du mobilier à l'intérieur des maisons ;
- murs volontairement détruits en 2006 dans le village pour limiter la montée des eaux ; dégradation volontaire des chaussées pour permettre une infiltration plus rapide de l'eau et de la boue (P-1) ;
- déblaiement rapide des dépôts dans le village (dicté par une logique économique mais contribuant à la protection des habitations en réduisant les hauteurs atteintes par les écoulements et dépôts successifs) ; tentatives de curetage à la pelle du chenal en amont du village ;
- destruction des maisons endommagées une fois l'eau évacuée pour récupérer les matériaux en vue d'une construction nouvelle ; utilisation d'une plante locale aux racines solides (« kitsan ») pour renforcer les murs ; à partir de 2007 surélévation des nouvelles constructions ;
- en ultime recours, abandon des biens dans les zones régulièrement envahies par les lahars et accueil chez des villageois dans les zones épargnées ou moins sinistrées ;
- en cas de fortes pluies mise en place d'une « veille », habitants sur le qui-vive y compris la nuit ;
- face à la répétition des événements et à l'immobilisme ambiant, les jeunes du quartier Ambassadeur se sont organisés en 2007 pour construire un muret de protection en amont du village le long du chenal responsable des débordements vers leur quartier. Cette digue d'une soixantaine de mètres de long pour un mètre de hauteur, constituée de grosses pierres sans maçonnerie prélevées dans le chenal d'écoulement et ses environs (Figure 96, P-2), n'a pas résisté aux lahars liés aux événements pluvieux intenses d'avril 2009.

Avec l'habitude, les habitants ont appris à anticiper les lahars alors qu'ils avaient été totalement surpris par les premiers événements. Les réponses individuelles sont apportées dans des délais plus courts, gage d'une meilleure efficacité, et parfois même anticipent la survenue des lahars (cf. mesures préventives Tableau 31). Elles sont par ailleurs révélatrices de capacités d'adaptation importantes (utilisation du kitsan, déménagements, cohésion sociale, etc.).

*Figure 96 - Mesures de protection face aux lahars à Vouvouni (clichés J. Morin 2006, P-2 J.C. Gaillard 2008)*

❖ ***Des comportements « à risque » liés à l'accès à l' « or gris »***

- **L'exploitation des matériaux volcaniques en Grande Comore**

L'exploitation des matériaux volcaniques se fait traditionnellement selon deux modes. A échelle industrielle, des sociétés nationales et internationales exploitent les coulées volcaniques sur de vastes surfaces depuis les années 1980 (Figure 97, E-1) et les concassent (E-2) pour vendre les matériaux de construction souvent dédiés aux marchés publics. Ces entreprises paient un loyer mensuel d'extraction aux communautés villageoises qui donnent accès à leur ressource et/ou s'engagent à construire des infrastructures pour le village. A Itsoundzou par exemple (E-2), la Sogéa verse 600 euros de loyer mensuel, 6 euros par camion de roche extraite, et s'est engagée à construire un foyer pour les jeunes, une mosquée et un débarcadère pour les pêcheurs [KES 2005]. Le sable concassé produit, de bonne qualité, est trop cher pour de nombreuses familles, poussées à s'auto-approvisionner dans la nature.

A échelle individuelle, le ramassage manuel s'opère à même les coulées (E-3) pour constituer des réserves de matériaux dédiés à la construction individuelle (avec fabrication progressive de briques pour certains), à la revente pour accroitre leurs revenus de l'agriculture et de la pêche et constituer un capital, ou de façon moins régulière à des dons, notamment pour la construction ou la rénovation des mosquées. Le coût des matériaux est élevé. L'apport de sable par les lahars a donc d'emblée constitué une ressource d'envergure, exploitée directement dans les chenaux d'écoulement en amont des villages (E-4), dans les champs comblés par les dépôts (E-5) ou à même les rues du village lors d'opérations de déblaiement (E-6). Les matériaux sont stockés dans des sacs (E-4) ou des camions (E-7).

La demande en sable était estimée à 121 953 $m^3$ en 1997. Les usines de concassage couvrent seulement 52% de cette demande, ce qui signifie que 57 587 $m^3$ sont fournis par des exploitants individuels qui

utilisent le sable marin [Abdoulahik et Hamidou Ali 1998], pratique pourtant illégale depuis les années 1980. Par ailleurs, la demande en sable s'est accrue en lien avec une urbanisation dense et anarchique principalement le long de la côte, tandis que la capacité des stations de concassage est restée limitée. L'extraction illégale de sable le long des côtes contribue à l'érosion des plages, limitant le nombre de points d'accostage sûrs pour les pêcheurs et perturbant les écosystèmes. La demande en matériaux de construction est par ailleurs alimentée en permanence par l'obligation de construire une maison pour respecter la coutume du Grand Mariage, rite de passage considéré comme un pré requis pour évoluer dans la société grand-comorienne.

*Figure 97 - Exploitation des matériaux volcaniques en Grande Comore (clichés J. Morin 2006-2008, E-1 à proximité de Hahaya, E-2 à Itsoundzou, E-3 à Singani, E-4 à 7 à Vouvouni)*

Après les éruptions de 2005, les gens abandonnent l'extraction de sable côtier et s'engagent dans l'exploitation du sable de rivière : après chaque forte pluie, des dizaines de personnes se massent le long des routes pour récupérer le sable déposé par les coulées volcaniques hyperconcentrées. Ce sable est d'emblée perçu comme une opportunité de générer des revenus ou d'acquérir plus facilement des matériaux de construction. Chouaybou [2010] montre que deux semaines sont nécessaires à un homme (et trois à une femme en raison des tâches ménagères qu'elle accomplit en plus) pour obtenir un camion de sable de tonnage moyen (environ 5 $m^3$) en exploitant les coulées. Grâce au sable de rivière cette durée est

réduite à une journée. Cela assure des revenus allant de 150 à 1000 € par mois en fonction de la réussite des activités. L'attrait n'est pas immédiat pour autant car des rumeurs courent sur la véhiculation de maladies par le sable. En 2006, les investisseurs chinois commencent à exploiter cette ressource : pour les populations c'est le signe qu'elles peuvent se lancer dans son exploitation. Des voix s'élèvent pour dire que les rumeurs ont été lancées par les industries de concassage lorsque l'exploitation du sable de rivière a commencé.

- **Subsistance et stratégies d'exposition aux aléas volcaniques : les paradoxes de l'accès à la ressource à Vouvouni**

Malgré l'étendue des dégâts, de nombreuses personnes se sont donc réjouies de l'occurrence des lahars, synonymes de dépôts de « sable » et donc de ressource facilement exploitable. Jusqu'en 2008, les lahars ont été synonymes d'aubaine plus que de danger pour une majorité de Grand Comoriens et de Vouvouniens, exceptés certains sinistrés [Morin 2009 ; Morin et Lavigne 2009 ; Morin et Gaillard 2012]. La pénibilité du travail lié à leur exploitation, la concurrence sur le marché des matériaux de construction et la lassitude des dégâts occasionnés ont progressivement eu raison de cette perception. Ce changement de représentations a été accompagné d'une évolution des comportements des populations, désormais désireuses de se protéger de l'aléa plus que d'accéder à la ressource.

Les dépôts de lahar envahissent initialement deux champs en amont du village sur plus de deux mètres d'épaisseur sans atteindre les infrastructures. Conscients de la menace constituée par de futurs lahars, et pour certains déjà probablement tournés vers l'attrait de la ressource, les Vouvouniens exigent des propriétaires des champs touchés qu'ils les débarrassent de leurs dépôts dès 2005 afin de restaurer des espaces de stockage. Ils joignent l'acte à la demande en commençant à se servir en sable sur les propriétés privées touchées. En réponse, les propriétaires, originaires de Mde et Iconi, choisissent de clôturer leurs champs, d'en interdire l'accès, et d'exploiter progressivement le sable en guise de compensation pour leurs plantations perdues. Leur capacité d'exploitation individuelle étant réduite et aucune urgence ne les pressant puisque l'accès aux ressources leur est assuré sur la durée, le déblaiement des dépôts n'est pas entrepris. En 2006, les premiers impacts sont recensés dans le village. L'origine de l'extension des lahars est alors contestée. Pour beaucoup, les uniques responsables sont les propriétaires des champs qui ont refusé de faire le nécessaire pour éviter ces débordements. Selon trois sources distinctes (interrogées individuellement), l'extension des lahars serait cependant partiellement attribuable à des actes de malveillance. Cette seconde version incrimine toujours les propriétaires mais évoque aussi le comportement de quelques villageois, pourtant conscients des dangers encourus, qui ont choisi de dévier le chenal hydrographique pour disposer à leur tour de sable sur leur propriété. La localisation des dérivations diffère d'un entretien à l'autre, signe qu'au moins un interviewé se trompe ou que les « sabotages » ont été tentés en deux points. Cette chenalisation a été efficace, entrainant une extension des zones d'emprise des lahars, avec une menace directe pour de nombreux habitants. Notons qu'elle n'a toutefois fait qu'accélérer un processus en cours, les champs interdits d'accès s'étant déjà largement remplis. Certains villageois ont ainsi choisi d'exposer délibérément leur communauté aux lahars pour satisfaire leurs propres besoins quotidiens. Les objectifs sont atteints : les lahars ont envahi la moitié de la superficie du village, tout le monde dispose de matériaux de construction à la moindre pluie le long des routes, sur les terrains publics et de nombreux terrains privés (Figure 98). On entrevoit ici toutes les difficultés de la gestion du risque dans un pays où les représentations et les intérêts ne se prêtent pas nécessairement à la mise en place de mesures de mitigation.

Les sinistrés font pour la plupart le choix de rester vivre à Vouvouni, exposés aux lahars. Le lien à la

communauté villageoise est trop fort pour se résoudre à la quitter. En contrepartie, entre deux coulées, ils tentent de replanter les parcelles embourbées et de renforcer les mesures protectives. Pendant les écoulements, les déplacements sont limités au strict minimum. Seuls les enfants s'amusent en toute insouciance à traverser les zones inondées, sans toutefois se risquer dans les chenaux d'écoulement principaux. La plupart des réponses apportées par les populations ont une incidence positive sur la réduction des risques uniquement à court terme. Seuls les déménagements ont un effet positif au long terme lorsque la nouvelle résidence n'est pas à son tour touchée par les lahars (Tableau 31).

*Tableau 31 - Synthèse des réponses apportées par les populations face aux lahars à Vouvouni*

Impact positif / adapté au long terme | Impact discutable / à efficacité variable au long terme | Impact négatif / inadapté au long terme

(1) Mesures préventives (2) Mesures réactives (3) Mesures curatives

| | Description des mesures | Temporalité (1) | (2) | (3) | Echelle de décision | Impact de la mesure | Adapté au long terme |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Structurelles | Déviation du chenal de la rivière | | | | Individuelle / par petits groupes | Extension spatiale de l'aléa : augmentation du risque | non |
| | Digue de protection | | | | Communautaire (jeunes du village à Vouvouni, village entier à Salimani) | Restriction spatiale de l'aléa | non |
| | Creusement du chenal | | | | Communautaire | Restriction spatiale de l'aléa | non |
| Non structurelles | Mise en sécurité des personnes vulnérables | | | | Individuelle | Diminution de la vulnérabilité humaine | |
| | Murets de protection en sacs | | | | Individuelle | Diminution des vulnérabilités structurelle et humaine | non |
| | Petits matériels de déblaiement et d'urgence | | | | Diaspora | Facilitation du retour à la normale | non |
| | Déménagements | | | | Individuelle | Réduction de l'exposition aux lahars | variable |
| | Appropriation exclusive de la ressource | | | | Propriétaires terriens | Aggravation de l'aléa | non |
| | Exploitation de la ressource | | | | Communautaire, individuelle / par petits groupes | Réduction de la vulnérabilité humaine / de l'aléa | non |

En 2005, après les premiers écoulements, une partie des habitants du village s'est impliquée dans l'exploitation du sable, pour constituer des stocks de matériaux en vue d'une future construction ou pour obtenir des revenus de sa vente. Cette situation de profit tourne, fin 2006, à une nécessité difficilement contournable : nombreux sont ceux pour qui l'exploitation devient contrainte, obligés de trouver des revenus de substitution pour se nourrir alors que les lahars ont détruit leurs champs, les rendent inaccessibles, ou perturbent le déroulement des activités rémunératrices habituelles (Figure 98). L'extraction du sable s'impose naturellement à tous du fait de la proximité et de l'abondance de la ressource, et du peu de moyens et d'outils nécessaires. Pour ceux qui n'ont pas été directement affectés, les dépôts constituent simplement une importante source additionnelle de revenus. Les étudiants par exemple pratiquent l'extraction durant les vacances scolaires. A l'échelle de l'île, des milliers de personnes s'engagent dans l'exploitation des matériaux volcaniques. Dans la plupart des cas, les gens vendent des sacs de sable (ou des $m^3$ dans des camions benne remplis à l'aide de brouettes) à des revendeurs intermédiaires locaux qui à leur tour revendent les matériaux de construction avec des bénéfices substantiels. Un système de métayage est par ailleurs mis en place : les bénéfices sont partagés à 50% avec les propriétaires des champs exploités lorsque l'exploitant n'est pas propriétaire. Un vrai tissu économique local voit ainsi le jour. Rapidement le marché du sable est soumis à la spéculation, saturé de revendeurs, et compte moins d'acheteurs, nombreux à s'approvisionner eux-mêmes. L'euphorie liée à l'exploitation de ce sable de rivière

a en effet été de courte durée car les gens ont progressivement réalisé que ses caractéristiques granulométriques impliquaient la fabrication de matériaux de construction moins pérennes, avec des fissurations dès six mois après l'achèvement des constructions. La spéculation très forte autour de cette nouvelle ressource a par ailleurs retiré l'intérêt d'une exploitation à des fins économiques. Le prix usuel avant les éruptions de 2005 était de 100 000 Francs Comoriens (203 €) pour 5 $m^3$. Par la suite, la ressource est devenue librement accessible dans les environs. En 2006 il était passé à 150 € les 5 $m^3$, puis à 100 €. En 2009, seulement 30 €, jusqu'à 5 € certaines semaines en fonction du jeu de l'offre et de la demande. La lassitude des dégâts et des problèmes quotidiens renforcés par les lahars prend par ailleurs le pas sur l'attrait de la ressource. Alors que 50 foyers étaient impliqués dans l'extraction du sable entre 2006 et 2008 (faisant vivre environ 300 personnes), seules 20 personnes se livrent encore à l'activité depuis 2009. On passe ainsi d'une perception positive des lahars, synonymes d'opportunité de 2005 à 2007, à une perception négative, ces derniers étant considérés comme une contrainte majeure à partir de 2007. Ce changement de représentation conduit à une plus grande cohésion dans l'adoption des mesures de mitigation, sans pour autant les rendre plus efficaces ou pérennes. Ces logiques d'exposition et d'exploitation sont décrites dans Gaillard *et al.* [2010b] et Morin et Gaillard [2012].

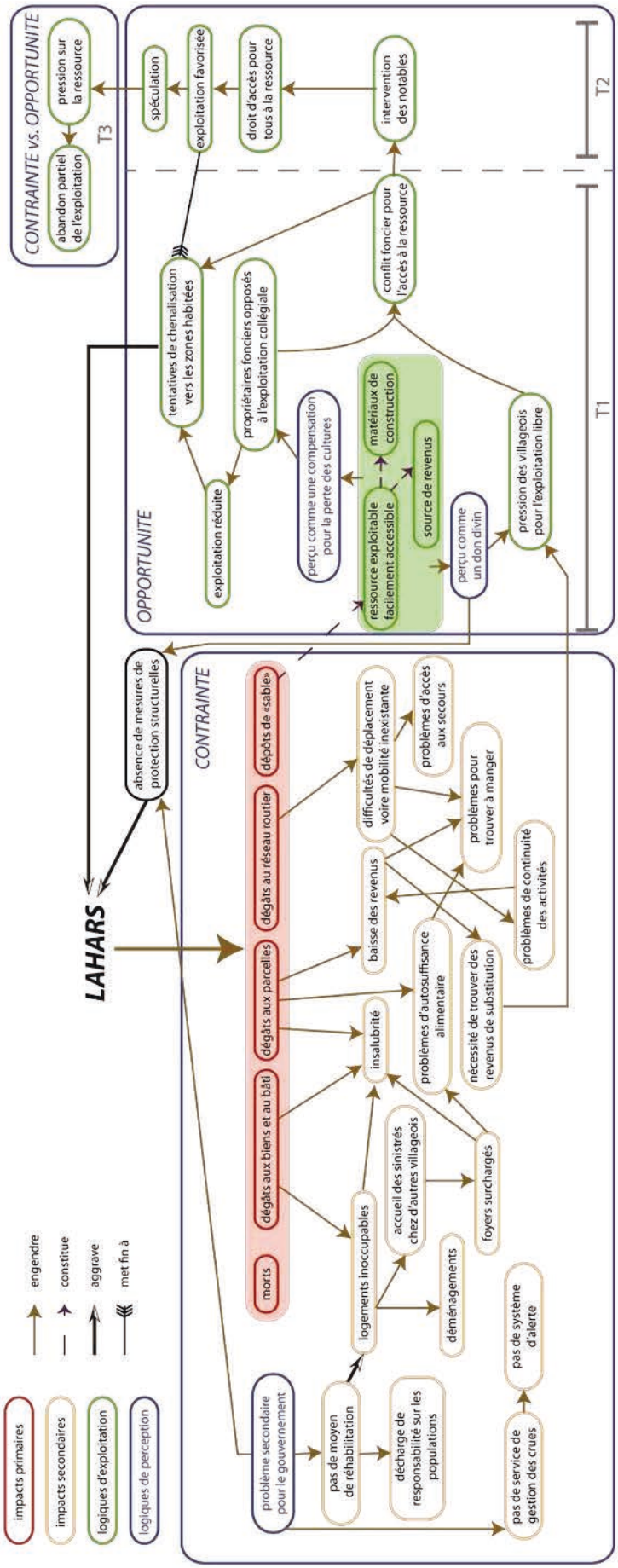



*Figure 98 - Synthèse des impacts et stratégies d'exposition/exploitation liés aux lahars à Vouvouni*

Nombreuses sont les populations dans le monde à « choisir » de s'exposer aux aléas naturels pour les besoins de leur survie [Wisner 1993 ; Wisner *et al.* 2003 ; Gaillard *et al.* 2010a]. Des exemples d'exposition accrue à l'aléa lahars dictée par la nécessité d'accès aux ressources ont déjà été décrits [Gaillard 2008 ; De Bélizal *et al.* 2011b]. La pression des contraintes socio-économiques quotidiennes pousse ainsi certaines populations à accroitre leur vulnérabilité en renforçant leur exposition ou en impactant parfois irréversiblement leur environnement. Le cas d'étude de Vouvouni n'est donc pas unique. Il constitue toutefois à notre connaissance le premier exemple décrit d'extension délibérée des effets d'un aléa volcanique pour en tirer un profit économique, en parfaite conscience de l'augmentation du risque et des conséquences attendues.

### 3.5. PRECONISATIONS POUR UNE SORTIE DE CRISE A VOUVOUNI

Le RETEX sur les lahars de 2005 à 2011 et l'étude de vulnérabilité menée à Vouvouni ont permis de mettre en évidence une absence criante de mesures préventives, protectives et de réhabilitation. L'ensemble des acteurs en partage la responsabilité. Plusieurs points majeurs ont été identifiés pour améliorer cette situation :

- la première nécessité est de canaliser durablement les écoulements, pour, si ce n'est préserver tout le village, au moins mettre à l'abri ses principaux enjeux (déterminés grâce à la cartographie participative). Le chenal créé devrait faire l'objet d'un curetage régulier par les membres de la communauté, ce qui assurerait son entretien tout en permettant à ceux qui le souhaitent de continuer à exploiter la ressource ;
- cette canalisation relève de travaux de génie civil qui doivent s'appuyer sur des modélisations réalisées avec des logiciels adaptés tels que LAHARZ. Ces modélisations, pour être calibrées, doivent elles-mêmes s'appuyer sur des relevés topographiques précis et la connaissance empirique qu'ont les villageois du terrain. Elles doivent prendre en compte les volumes de dépôts remobilisables actuellement en place mais aussi établir des scenarii type en cas de nouvelle éruption explosive afin de dresser une cartographie complète de l'aléa lahars ;
- des cartographies des taux de pertes potentielles et relatives sur le bâti et les personnes dans Vouvouni pourront ensuite être établies, de même qu'une cartographie de l'accessibilité prenant en compte les ruptures de réseaux ;
- les communautés pourront alors définir des zones refuge en lieu sûr. Les foyers de rassemblement se trouvent à l'heure actuelle dans les zones touchées par les lahars car ils ont été définis en prenant en compte le risque volcanique mais pas le problème des « crues ». Plus largement, un plan de gestion de crise devrait être établi au niveau communautaire ;
- la communauté devrait également se doter un plan d'aménagement et d'exploitation du territoire limitant les constructions en zones à risque et certaines pratiques en amont des zones les plus sensibles (notamment la déforestation intensive qui contribue à l'érosion en amont du village) ;
- enfin, un appui au relogement des familles sinistrées devrait être envisagé.

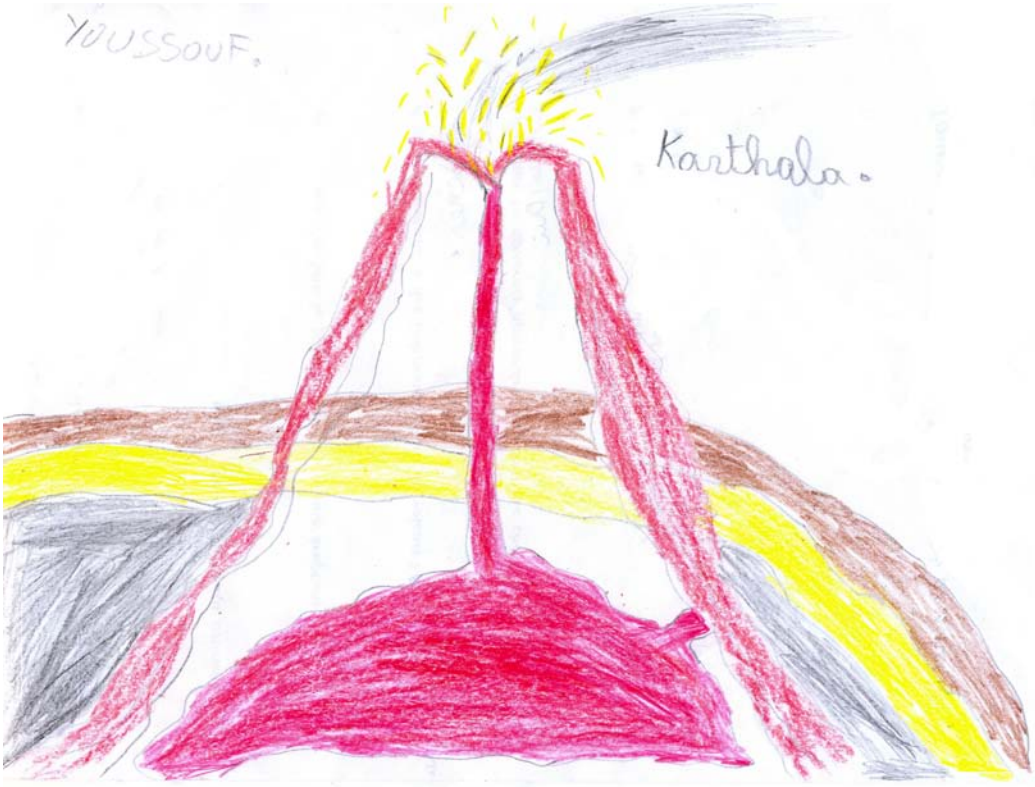
Il est par ailleurs urgent d'étendre ces mesures à l'ensemble de l'île (cartographies des aléas et vulnérabilités) et d'intégrer la gestion de ces événements au PNPRU.

Conclusion du Chapitre :

L'analyse des réponses institutionnelles et communautaires face aux crises éruptives et face aux lahars post-éruptifs en Grande Comore révèle des carences majeures synonymes de fort potentiel crisogène. L'hypothèse d'une nette amélioration de la gestion des risques et des crises volcaniques corrélée à la multiplication des événements éruptifs des dernières années est infirmée. Si une prise de conscience s'est effectivement opérée après 2005 et que les programmes de réduction des risques se sont multipliés, les résultats concrets sont encore maigres. Les réponses observées sont le plus souvent portées par des moyens très limités et envisagées uniquement sur le court-terme, en réaction directe à la survenue d'événements. L'absence de mesures préventives malgré la conscience des menaces est à cet égard très parlante. Ces réponses sont ainsi révélatrices de vulnérabilités préexistantes globales qui dépassent le cadre conjoncturel et les seules éruptions volcaniques. Elles sont dominées notamment par une absence criante de moyens matériels et humains et de formation et d'information de l'ensemble des acteurs

.

# Chapitre VI - Vers une meilleure gouvernance des crises à La Réunion et en Grande Comore ?




Le Karthala par Youssouf, en CM2 à Moroni, mai 2007.

# Chapitre VI - Vers une meilleure gouvernance des crises à La Réunion et en Grande Comore ?

## Fondements essentiels et proposition de solutions



Les RETEX que nous avons réalisés à la Réunion et en Grande Comore ont permis de montrer que, sur de nombreux points, les sociétés de ces deux espaces insulaires ne sont pas suffisamment préparées pour faire face convenablement à une crise éruptive. Par « convenable », on entend (1) efficace, en terme de protection des populations, mais également (2) consensuel, de façon à ce que la situation soit acceptable par tous les acteurs. Nous montrons par ailleurs que peu d'évolutions positives ont eu lieu au fil des crises.

Dans ce chapitre, nous avons cherché à comprendre les fondements des faiblesses recensées. Cette recherche des causes profondes n'a pas vocation à être exhaustive. Elle montre simplement la complexité des mécanismes entrant en compte dans les (dys-)fonctionnements de la gestion des crises. Ces causes profondes sont peu liées aux caractéristiques intrinsèques de l'événement initiateur (l'éruption volcanique), mais relèvent de facteurs d'ordre structurel. On rejoint ici l'approche dite « radicale » dans la géographie des risques, qui soutient que les crises sont engendrées par des facteurs sociaux, économiques et politiques qui échappent au contrôle des sociétés. Nos travaux rejoignent également l'approche « dominante » selon laquelle ces réponses sont liées à la perception des phénomènes volcaniques et des risques associés, et l'approche de « la préparation » selon lesquels les réponses sont fonction du degré de préparation des sociétés.

Cette thèse ayant une vocation semi-opérationnelle, nous avons ensuite recherché des solutions tenant compte de ces causes profondes. Nous avons ainsi émis des propositions, pour certaines conceptuelles, pour d'autres plus concrètes, afin de se rapprocher d'une meilleure gouvernance des crises.

## 1. CAUSES PROFONDES DES REPONSES APPORTEES FACE AUX CRISES VOLCANIQUES

Pour Lagadec [1991], la situation de crise va se « *nourrir de tous les problèmes, déséquilibres déjà présents dans le contexte où elle se meut* ». Il est donc impératif de chercher à comprendre le contexte structurel profond des territoires étudiés pour être à même de comprendre les sources des dysfonctionnements que nous avons mis en évidence lors de nos RETEX. Nous nous sommes ainsi interrogés tour à tour sur les principaux facteurs institutionnels, culturels, socio-économiques et territoriaux qui pèsent sur les réponses des acteurs de la gestion de crise.

### 1.1. FACTEURS INSTITUTIONNELS

#### 1.1.1. Limites de l'expertise et de la communication scientifique

- ***Limites de la prévision volcanologique***

A La Réunion comme en Grande Comore, nos RETEX ont permis de mettre en évidence les problèmes dérivant de l'incertitude des prévisions volcanologiques. Aux Comores, celle-ci est renforcée par l'état de dégradation intense du réseau de surveillance. Toutefois, si l'OVK était doté d'un réseau aussi performant que celui de l'OVPF, se poseraient les mêmes problèmes de prévision, intrinsèques à tous les observatoires volcanologiques.

Le public attend souvent des scientifiques qu'ils soient capables de prédire l'heure et le lieu exacts du début d'une éruption, son intensité, son évolution et le moment où elle se terminera. En l'état actuel des connaissances, cela est impossible.

Par ailleurs, les scientifiques peuvent se heurter à des problèmes de communication lorsque la situation n'évolue pas de manière sensible au cours d'une éruption. Le public peut avoir l'impression de ne pas être informé, même s'il l'est quotidiennement, dans ces situations où l'information ne varie pas.

#### ❖ *Véhiculation de l'expertise scientifique*

La Réunion et la Grande Comore ont jusqu'ici échappé aux problèmes des conflits d'experts décrits dans de nombreux cas d'étude sur les crises volcaniques. On peut toutefois imaginer que ces questions apparaitraient si la survenue d'une éruption majeure (par exemple le réveil du Piton des Neiges) était suspectée. Les conflits naissent en effet lorsque plusieurs scientifiques interprètent différemment l'évolution attendue de l'activité volcanique. Cette situation s'est par exemple produite à la Soufrière de Guadeloupe en 1976 [Stieltjes 2003]. Plus récemment, des contradictions systématiques entre certains scientifiques et des fuites d'information depuis la cellule de gestion de crise[168] ont été relevées lors d'une crise sismique au Teide (îles Canaries) en 2004 [Perez 2010 ; Villalba 2010]. Dans ce dernier cas, la protection civile ne savait pas à qui se fier. Plus inquiétant, ses responsables ne savaient toujours pas, en 2010, à quel scientifique accorder leur confiance si une telle situation devait se renouveler [com. pers. responsable du centre de Protection Civile de Tenerife, 2010].

Comme le souligne le rapport OPECST [Kert 1999], la confrontation de différentes hypothèses scientifiques est logique, dans la mesure où les phénomènes volcaniques sont complexes et étudiés via un panel de méthodes très différentes les unes des autres. Cet échange d'idées est par ailleurs un processus indispensable pour fournir le diagnostic le plus sûr possible. C'est de lancer le débat sur la place publique qui relève d'un certain manque de professionnalisme. Kert [1999] souligne d'ailleurs que ce débat est mal accepté par le public en temps de crise volcanique[169]. Cette situation est d'autant plus problématique que certains journalistes cherchent à monter en épingle ces divergences. Il est donc important de « *bien organiser les relations avec les médias, et de nommer un correspondant scientifique unique chargé de donner les informations et de répondre aux questions* » [Kert 1999]. Or, à La Réunion et en Grande Comore, aucun observatoire ne dispose d'un chargé de communication, ce qui rend cette tâche plus complexe.

Se pose également le problème de la compréhension par les autorités du message scientifique émis. Pour remédier à cet obstacle potentiel, les îles volcaniques du Cap Vert emploient au Centre National de Protection Civile, un géologue de formation voué à assurer la communication avec les scientifiques. On retrouve ce système de double vocation scientifique et opérationnelle en Italie, où la Protection Civile a embauché sismologues et volcanologues. Une solution alternative, moins coûteuse, réside dans la conception d'arbres d'événements, qui permettent la participation de non scientifiques aux discussions sur le déroulement attendu des événements [Newhall et Hoblitt 2002]. La mise à disposition libre du logiciel BET-EF rend cette conception facilement abordable [Marzocchi *et al.* 2006, 2008 ; Lindsay *et al.* 2009 ; Sandri *et al.* 2009].

---

[168] On note parfois que ces conflits naissent lorsque les antagonismes entre chercheurs ou groupes de chercheurs existaient au préalable, ou lorsqu'un scientifique veut donner une visibilité à l'institution qu'il représente.

[169] La pluralité des discours est en revanche plébiscitée par le public dans le cadre d'autres risques. Le rapport PREPLEX a en effet montré que le public adhère préférentiellement aux expressions qui vont dans le sens d'une plus grande pluralité de l'expertise sur les sujets de santé publique [IRSN *et al.* 2006].

Enfin, les attentes du public en matière d'information sont généralement binaires (oui / non) alors que les scientifiques ne peuvent fournir des réponses que probabilistes. Il convient donc d'éduquer les populations à l'existence d'incertitudes dans la démarche scientique. Le « verdict de l'Aquila » à la veille du rendu de cette thèse, illustre tout le chemin qu'il reste à parcourir dans ce domaine.

### 1.1.2. Un fonctionnement institutionnel globalement favorable à l'émergence de dissensions

#### ❖ *Priorités et temporalités divergentes des acteurs pendant la crise*

En 2006 en Grande Comore, l'ONU est soucieuse de la mise en sécurité de son personnel, les AMISEC de savoir si l'aéroport de Hahaya servant au transport des troupes sera préservé, les politiques comoriens de maintenir l'ordre et d'affirmer leur assise politique, les populations de se mettre en sécurité, de recevoir de l'information, puis, dans un second temps, de connaître les impacts sanitaires de l'éruption. En 2007 à La Réunion, la priorité des autorités est d'assurer la sécurité des visiteurs et de limiter de fait l'accès aux sites éruptifs ; les touristes cherchent à transgresser les interdictions pour avoir un accès au spectacle, etc. Ces préoccupations divergentes provoquent une forme d'éclatement de la gestion, qui implique des vécus très différents des événements. Ce que Lagadec résume en ces termes : « *ce qui est crise pour l'un, est difficulté pour un autre et opportunité pour un troisième* » [Lagadec 1991].

Ces priorités différentes s'inscrivent dans des temporalités propres qui rendent la cohésion des acteurs difficile. Pour les autorités, la crise est l'espace de la planification et de l'instantané, tandis que pour les populations, elle s'inscrit dans une continuité dans la mesure où elle ne fait qu'exacerber les difficultés quotidiennes. Pour certains acteurs, la crise s'illustre ainsi comme espace de revendication et de dénonciation des difficultés quotidiennes (exemples de l'accès à l'eau pour les populations du Tremblet, de l'accès aux soins en Grande Comore, du développement insuffisant des moyens de surveillance scientifiques, etc.). Pendant les éruptions, les problèmes conjoncturels mettent en exergue les contraintes structurelles. Certains acteurs entendent que la crise fasse progresser l'atténuation de ces contraintes, tandis que pour les autorités la priorité demeure la gestion opérationnelle à court terme des événements. Ces deux temporalités sont à l'origine d'incompréhensions.

#### ❖ *L'incidence des rapports entre acteurs sur la gestion de crise*

On remarque que les événements façonnent les rapports que les acteurs entretiennent les uns avec les autres, en renforçant ou diminuant les liens, susceptibles d'affecter la propension à communiquer lors de futures crises. Selon Gilbert [2005], la crise peut d'ailleurs provoquer une réorganisation des jeux d'acteurs, avec remise en cause ou réaffirmation de leur légitimité, voire production d'un « *nouvel ordre institutionnel* ». A La Réunion, l'ORA a très clairement acquis la confiance des populations grâce à sa présence sur le terrain et à ses activités de communication. Dans la mesure où des bons rapports ont été maintenus depuis (dîners de Noël organisés entre l'équipe de l'ORA et les habitants du Tremblet), on peut être certain que la communication sera optimale entre ces acteurs spécifiques lors de futures crises.

Réciproquement, des rapports préexistants tendus entre acteurs se répercutent négativement en période de crise. En 2007 à La Réunion, des tensions fortes ont été observées en cellule de crise entre individus qui s'étaient déjà « accrochés » en pré-crise. Toutefois, il s'agit là de problèmes de personnes non généralisables. On touche ici à un point délicat de la gestion de crise : celui des défaillances liées au facteur humain à proprement parler. Portal [2009] l'exprime ainsi : « *les crises s'emmêlent quand l'humain s'en mêle !* ». McGuire *et al.* [2009] ont mis en évidence l'importance du rapprochement de la communauté scientifique, de la sécurité civile et des médias avant la survenue des crises volcaniques. Cela doit

permettre une coopération et une coordination sans faille lorsqu'une situation de crise se développe. Des protocoles pour gérer les interactions entre acteurs sont proposés dans le guide du DFID [2003]. Initialement destiné à la gestion des crises volcaniques aux Antilles, ce guide très générique a depuis été traduit en japonais et en espagnol. Il fournit notamment des exemples de bonnes et mauvaises pratiques entre institutionnels, et entre institutionnels et populations.

A La Réunion (et plus généralement en France), scientifiques et opérationnels sont encore trop rarement associés dans des démarches de réflexion commune, même si les programmes de recherche développés récemment tendent à rapprocher chercheurs en sciences de la Terre, géographes, sociologues et opérationnels (cf. GEMITIS à Nice, CASAVA aux Antilles, PREPARTOI à La Réunion).

#### ❖ *Une vision trop technocratique de la gestion des risques et des crises*

Les relations entre institutions et populations se résument quant à elles généralement à des mesures technocratiques, établies sans suffisamment de concertation avec les communautés qu'elles visent. Le Masson et Kelman [2010] et SOGREAH [2010] le mettent en évidence à La Réunion. Sur le territoire français, cette situation est particulièrement contradictoire lorsque l'on sait que la loi de modernisation de la sécurité civile entend faire du citoyen le premier acteur de la gestion des risques. Ce manque de concertation se prolonge et s'intensifie en temps de crise : la prise en compte des facteurs sociaux (acceptabilité du risque et des mesures de gestion de crise, accès aux ressources, etc.) est largement négligée. Notre RETEX sur l'éruption du Piton de la Fournaise en avril 2007 illustre également cette tendance : l'encadrement forcé des comportements prévaut sur la responsabilisation des populations. En Grande Comore, nos enquêtes ont démontré un manque de prise en compte des structures sociales existantes qui dictent pourtant l'organisation communautaire en temps de crise.

#### ❖ *Les gestionnaires, des citoyens comme les autres*

Alors que l'on attendrait des gestionnaires qu'ils sachent eux-mêmes comment réagir face à une crise volcanique, nos RETEX mettent en évidence qu'il n'en est rien. En 2007 au Tremblet, certains gendarmes interprètent mal l'aléa puis réagissent mal à cette fausse interprétation, persuadés qu'une coulée risque d'engloutir le village en moins de trois minutes. Lepointe [1999] décrit un problème similaire à la Soufrière en 1976, où ce sont également les gendarmes qui sont à l'origine de rumeurs catastrophistes. En Grande Comore en mai 2006, le chargé de sécurité de l'ONU s'inquiète de savoir s'il faut délocaliser l'ensemble de Moroni dans une zone moins exposée comme Mitsamiouli (au Nord de l'île). Ces réactions excessives sont attribuables à une absence totale de connaissance du terrain et des aléas volcaniques dans le premier cas, et à un événement traumatisant dans le second[170]. Les gestionnaires sont ainsi, comme tout citoyen, soumis à l'influence de leur représentation individuelle du risque. Ils ne sont alors pas forcément en mesure de prendre les décisions incombant à leur fonction avec le recul nécessaire.

On note aussi que la gestion de crise est conditionnée par les vies personnelles des gestionnaires, avec, par exemple, des allègements des dispositifs de gestion de crise le week-end.

#### ❖ *Omerta sur les événements ingérés et « ingérables » ?*

Nos RETEX ont montré que les autorités banalisent les événements mal vécus par les populations, dissimulant leur inaptitude à les gérer correctement faute d'anticipation (le problème des lahars à Vouvouni

[170] Le responsable de la sécurité de l'ONU en Grande Comore vivait à Goma (République Démocratique du Congo) lorsque les coulées du Nyiragongo ont détruit la ville en 2006, ensevelissant sa maison.

n'a été envisagé que très tardivement car jugé peu préoccupant, celui des gaz et pluies acides dans l'Est réunionnais minimisé faute d'une planification pour guider la prise de décision).

En Grande Comore, des aléas majeurs ont été planifiés (telle une coulée de lave sur Moroni), mais aucun moyen censé permettre d'y faire face n'est disponible. *A contrario,* à La Réunion, les événements majeurs (de faible fréquence et d'intensité exceptionnelle), considérés comme « ingérables » au plan opérationnel, sont complètement éludés des plans de gestion. Ainsi, les travaux de Kelfoun *et al.* [2010] sur des tsunamis locaux de grande amplitude liés à des effondrements sectoriels (ou de flanc), ont été mal perçus par les autorités, celles-ci refusant de considérer de tels scenarii[171]. Dans le PSS Volcan, les événements hors-Enclos d'occurrence pluri-centennale sont ainsi négligés. Le Tampon, les Plaines et Saint-Benoît devraient pourtant être prêtes à faire face à des éruptions de ce type (un progrès est toutefois attendu avec l'intégration dans le PSS de scenarii d'événements explosifs réalisés dans le cadre du projet « Aléas » en cours). De la même façon, les populations ont tendance à refuser de s'assurer contre des aléas de faible récurrence mais qui occasionnent de gros dégâts, faisant leur propre évaluation coût / bénéfice pour s'assurer ou non face au risque [Kunreuther et Pauly 2004].

Ces exemples révèlent une relative incapacité des autorités réunionnaises à admettre publiquement leurs faiblesses, alors que les autorités comoriennes les affichent sans crainte. Ces dernières en profitent même pour mettre en évidence leur manque criant de moyens, et donc une incapacité structurelle à faire face. Elles ne remettent ainsi pas directement en cause leurs compétences propres, ce qui pourrait expliquer qu'elles soient plus prolixes que les autorités réunionnaises sur la question.

Cette posture est problématique lorsque l'on sait que la plupart des grandes catastrophes survenues ces dernières décennies étaient anticipées par les scientifiques, mais non prises en considération par les autorités. Johnston et Ronan [2000] le montrent à propos de la catastrophe d'Armero en Colombie en 1985, Irons [2005] à propos de Katrina en 2005 à la Nouvelle-Orléans, ou encore Garnier et Surville [2010] à propos de la tempête Xynthia en France en 2010. L'incapacité à tirer des leçons des événements passés, ou le fait de les oublier rapidement, contribuent à ce manque d'anticipation. McGuire *et al.* [2009] prennent pour exemple les enseignements qui auraient dû servir à la bonne gestion de la crise de Montserrat après les expériences de 1976 et 1979 aux Antilles.

### 1.1.3. (Géo)politique

#### ❖ *Conflits de compétence*

En Grande Comore, la gestion des éruptions du Karthala relève de prérogatives du gouvernement de l'Union contestées par le gouvernement autonome de l'Ile. Nous avons mis en évidence que ce conflit de compétence entre Union et Ile a compliqué la gestion de la crise de mai 2006. A La Réunion, la préfecture s'impose dans la gestion des crises volcaniques, au détriment des communes, qui, il est vrai, n'ont pas les moyens matériels d'assumer seules la gestion de flux de spectateurs ou celle des évacuations. Cela alimente la vision d'autorités préfectorales « toutes-puissantes » : les responsables communaux et les populations s'en plaignent en entretien et certains habitants développent des oppositions de principe face aux autorités étatiques, y compris dans des situations aussi critiques qu'une évacuation.

[171] La gestion d'un tel événement constituerait un défi très problématique (absence de système d'alerte, temps de réaction quasi nul, enjeux humains colossaux). Par ailleurs, la probabilité est très faible pour les dirigeants successifs qu'un événement de ce type se produise au cours de leur mandat politique, ce qui peut en partie expliquer ce refus à le considérer. Ce dernier argument est d'ailleurs valable dans le monde entier tous aléas confondus.

### ❖ *L'instabilité politique, un obstacle à la bonne gouvernance des crises*

- **Quand la politique comorienne entrave le bon déroulement d'une campagne de sensibilisation**

Les élections par lesquelles Mohamed Bacar entend accéder à nouveau au pouvoir en 2007 à Anjouan ne sont pas reconnues par le gouvernement comorien ni par l'Union Africaine. Refusant de laisser sa place, Bacar en appelle à l'indépendance de l'île. Toutes les négociations ayant échoué, un embargo est organisé contre Anjouan par l'Union des Comores, l'Union Africaine et la France jusqu'à la prise de contrôle de l'île en mars 2008 par les forces des Unions comorienne et africaine. Bacar réussit à fuir à Mayotte pendant l'assaut et demande l'asile politique, tandis que le gouvernement comorien émet un mandat d'arrêt international à son encontre pour détournements de fonds publics et outrages divers contre le peuple anjouanais. La France rejette sa demande d'asile autant que celle de son extradition, la loi française excluant cette procédure lorsque l'intégrité physique de cette personne est menacée dans son pays d'origine. Alors que Bacar est transféré à La Réunion, de violentes protestations anti-françaises éclatent aux Comores et à Mayotte, la France étant accusée d'aider Bacar à fuir. Les tensions sont alors fortes entre les deux pays, aggravant la question controversée de la possession de Mayotte, tandis que des velléités indépendantistes se maintenaient dans l'Union.

C'est dans ce contexte que commence la campagne d'enquête devant servir de support à la sensibilisation aux risques volcaniques de la population de Grande Comore[172]. Trois des établissements scolaires participant aux enquêtes retournent des enveloppes vides de questionnaires mais contenant un prospectus anti-français. L'absence de réponses de la part d'autres établissements pourrait également résider dans ce sentiment anti-français. Le contexte politique trouble ainsi l'adoption de mesures de gestion des risques et de préparation aux crises[173].

La littérature relate des cas de conflits politiques et armés qui entravent totalement les capacités de gestion de crise, notamment en contexte volcanique, comme au Nyiragongo en République Démocratique du Congo [Wisner *et al.* 2003]. Gaillard *et al.* [2008a ; 2008b] mettent en évidence que les habitants n'ont pas voulu fuir dans les montagnes à cause de la présence du GAM[174] lors de l'arrivée du tsunami de décembre 2004 à Aceh (Indonésie). Les conflits armés accroissent la vulnérabilité des populations et remettent en cause les capacités de gestion de crise. Bien que l'instabilité politique comorienne ne menace pas l'intégrité physique des îliens, elle augmente la vulnérabilité, contribuant à la situation socio-économique désastreuse du pays, et donc indirectement aux difficultés de mise en place d'un système de gestion de crise efficient.

- **La valse des institutionnels réunionnais**

Le comportement des gendarmes au cours de la crise d'avril 2007 à La Réunion découle d'un manque de connaissance des risques volcaniques, du territoire communal concerné et des procédures de gestion de crise à suivre. Ces manques liés à une expérience et une formation limitées, sont en partie attribuables au renouvellement périodique de ces acteurs, régulièrement mutés d'un département à l'autre. La familiarisation avec les aléas volcaniques étant limitée en France, les personnels en charge de la gestion des crises volcaniques à La Réunion doivent apprendre à gérer celles-ci directement sur le terrain. La formation de ces personnels devrait être inconditionnelle lors de leur prise de fonction. Nous avons établi des conclusions identiques à propos de la gestion du risque tsunami sur l'île [Sahal et Morin 2012].

---

[172] Campagne coordonnée par la Croix-Rouge Française, le Croissant-Rouge Comorien et l'Université de La Réunion (cf. infra).

[173] Les tensions entre les Comores et la France sont par ailleurs susceptibles de compliquer l'alerte donnée par l'Ambassade de France lorsque le responsable Comorien de l'OVK est indisponible (cf. Chapitre V).

[174] Gerakan Aceh Merdeka, mouvement séparatiste pour un Aceh libre.

Dans ce contexte de mutations régulières, les positions adoptées dans la gestion des crises sont parfois divergentes, variant en fonction des conceptions individuelles des dirigeants de l'équipe préfectorale en place. De fait, la politique de gestion des crises à La Réunion forme un ensemble parfois peu cohérent, comme l'a démontré notre analyse sur la politique d'accès au volcan.

#### ❖ *Le volcan, au cœur de stratégies politiques*

La gestion de crise est, dans certaines situations, instrumentalisée à des fins politiques.

- **La fausse alerte de 2003, échappatoire politique en Grande Comore**

En 2003, le président sud-africain Thabo Mbeki doit se rendre en Grande Comore pour une mission diplomatique sur le partage des pouvoirs aux Comores. A cette époque, la sismicité est élevée, avec une centaine de séismes par jour en août contre 1 à 2 au cours des mois précédents[175]. Le gouvernement de l'Union lance alors une alerte volcanique sans en avertir l'OVK et prévoit d'évacuer des populations[176]. Diverses sources évoquent en entretien une instrumentalisation de cette fausse urgence pour repousser la venue de Thabo Mbeki, effectivement annulée. Le stratagème est concluant, menant la population à se soucier plus du volcan que de politique intérieure. L'opposition entre gouvernements fédéral et autonomes est dans ce cas palpable à travers la gestion des crises volcaniques.

- **Le Dolomieu accessible pour Noël 2009 afin d'apaiser les tensions sociales**

En 2009, les DOM sont secoués par de vifs mouvements sociaux contre la vie chère. Après une gestion de crise controversée à La Réunion, et peu avant la visite du Président de la République sur l'île, la préfecture prend la décision de restituer l'accès au volcan à la population. Cette décision de gestion de crise arrive à point nommé au cœur d'un calendrier politique nécessitant un apaisement des tensions sociales[177]. Cette instrumentalisation a été officieusement admise par un officiel en entretien.

Dans d'autres contextes, la mauvaise gestion des crises volcaniques a été sanctionnée par les populations. A Montserrat par exemple, deux premiers ministres du gouvernement local perdent successivement leur mandat. La population leur reproche un manque de fermeté dans la gestion de la crise face au gouvernement central britannique qui impose ses conditions pour la mise en place d'un plan d'évacuation [Buffonge 1998].

Tous ces exemples démontrent la nécessité d'une bonne gouvernance des crises, prenant en compte les besoins et priorités de l'ensemble des acteurs. A défaut, l'efficacité de la gestion de crise est le plus souvent remise en question.

### 1.1.4. Une information inadaptée

- **Un manque d'information préventive préjudiciable**

Nos enquêtes ont révélé un sentiment d'abandon chez les populations de Grande Comore et du Tremblet, exprimant toutes un besoin inassouvi d'information préventive. Ce manque a engendré en Grande Comore des comportements contraires à la possibilité d'une gestion de crise efficace. En 2005, alors que Moroni subit des retombées de cendres importantes, les populations des régions périphériques y affluent pour s'informer auprès de l'observatoire volcanologique et de la gendarmerie. Les enquêtes montrent pourtant

[175] Source GVP : *http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=0303-01=&volpage=weekly*

[176] La BD CATNAT (*www.catnat.net*) relaie l'information selon laquelle un réveil du Karthala a eu lieu du 22 au 30 août 2003, précisant : « *le volcan a émis une coulée de lave à proximité d'un village où des troupes de l'armée s'apprêtent à faire évacuer plusieurs centaines d'habitants* ».

[177] L'interdiction d'accès au volcan constituant, comme nous l'avons vu, une ligne de tension sociale.

que ces populations considèrent Moroni comme une zone à risque mais consentent à s'exposer pour accéder à l'information. A La Réunion, l'enquête menée en 2008 a montré une bonne corrélation entre réactions adaptées et accès aux consignes de sécurité fournies par les autorités. Ainsi, 44,5% des enquêtés ayant reçu des consignes adoptent de « bonnes[178] » réactions, contre seulement 18,9% des individus ne les ayant pas reçues. Le lien entre accès à l'information et bonne réaction en temps de crise a été approfondi par Glatron [2009] à partir de nos données de terrain.

- **Défaillances dans l'information délivrée en temps de crise**

L'analyse de l'accès au sommet de la Fournaise a montré que l'absence d'information peut induire des comportements allant à l'encontre des critères de bonne conduite définis par les autorités. La plateforme d'observation aménagée pour le public au bord du Dolomieu a été conçue de telle façon qu'elle a incité les randonneurs à adopter les comportements qu'elle était sensée prévenir. Pour décrypter l'efficacité de la communication, nous avons suivi, en 2010, le cheminement d'un randonneur tout en recherchant attentivement l'information disponible sur site. Nous avons ensuite mené des observations pour voir comment les marcheurs se comportaient à l'approche de ces points d'information. A l'arrivée sur le parking du Pas de Bellecombe, le point d'information du relais n'est pas systématiquement ouvert. Sur le belvédère lui-même, aucune information n'est disponible. En entamant la randonnée vers l'Enclos, le premier panneau disponible décrit les sentiers du tour des cratères, pourtant interdits depuis l'éruption de 2007. Au portail d'accès à l'Enclos, les communiqués préfectoraux ne sont pas toujours à jour, et en période éruptive, la pancarte théoriquement apposée sur la grille est parfois absente, laissant les randonneurs face à une grille fermée sans la moindre explication. Dans l'Enclos, au-dessus de la Chapelle Rosemont, le panneau détaillant le parcours à suivre pour atteindre la plateforme tourne le dos au randonneur sur le chemin allé. Une fois sur la plateforme, il est nécessaire de franchir la ligne blanche pour pouvoir lire le panneau qui indique au randonneur de ne pas la franchir… Enfin, l'agent du Parc théoriquement présent sur site ne peut l'être en permanence pour des raisons évidentes de gestion du personnel. Nous avons rendu compte de ces éléments à l'ONF, à l'Etat-Major de Zone, au Parc ainsi qu'au chargé de communication de l'IPGP pour encourager les réflexions et motiver les acteurs à résoudre le problème[179]. En 2011, des panneaux de sensibilisation actualisés[180], présentant la nouvelle morphologie du sommet et les nouveaux sentiers, ont été installés en partie haute de l'Enclos.

Pour ajouter à la confusion, la plupart des personnes disposant d'une autorisation d'accès ne sont pas munies de la clef du portail de l'Enclos. Ils l'enjambent donc sous le regard de touristes qui sont tentés de les suivre à l'aller, et stupéfaits de découvrir qu'ils s'en sortent sans plus de formalités lorsque des gendarmes contrôlent les sorties au retour (Figure 99).

[178] On entend ici par « bonnes » les réactions conformes aux consignes de sécurité officielles. La suite de ce travail montre que des comportements jugés « inadaptés » par les autorités sont totalement logiques et prévisibles lorsque l'on se place du point de vue des populations.

[179] Sur la zone du volcan l'ONF et le Parc sont responsables de l'information des populations.

[180] En termes d'information du public, il faut saluer le travail réalisé par M. Sicre (personnel ONF détaché au Parc National) qui a réfléchi à l'aménagement de l'accès au volcan depuis plusieurs années [ONF 2007a, b]. Ses infographies, adaptées à l'information du public, n'ont pas pu être installées faute d'un budget spécifique, alors qu'elles étaient disponibles depuis plusieurs mois.

Préfecture de la Réunion

Carte permanente d'autorisation d'accès
aux sites d'éruptions du Piton de la Fournaise

Nom : .....
Prénom : .....
Profession : .....

est autorisé(e) à se rendre de tous temps sur les sites d'éruptions volcaniques en cours (enclos et hors enclos).

Carte n° délivrée à Saint-Denis, le

Le Titulaire, Pour le Préfet,

*Figure 99 - Contournement du portail de l'Enclos par des autorisés le 03/01/2010, munis de leur autorisation en guise de clef.*

On note par ailleurs que les sites internet des observatoires volcanologiques sont globalement peu ergonomiques : l'information accessible au grand public manque de clarté faute d'une interface soignée et claire. L'Ambassade de France aux Comores a quant à elle mis en ligne en 2011 une page dédiée au Karthala[181] décrivant l'activité récente du volcan et les précautions à prendre pour y monter. Cette bonne initiative n'a malheureusement pas bénéficié d'une mise à jour régulière, le dernier bulletin de l'OVK affiché datant du deuxième trimestre 2011. Le site des Nations-Unies dédié au Karthala, mis en ligne en 2008 à l'occasion du colloque « Karthala, maitrise et valorisation », présentait un riche corpus d'informations scientifiques. Ce site internet n'est à ce jour plus disponible[182].

En Grande Comore, se pose un problème majeur d'accès à l'information faute d'une couverture totale du territoire par les réseaux de télécommunication. La radio nationale, chargée de diffuser les consignes pendant les crises n'émet pas dans la partie sud de l'île.

### 1.1.5. Manque de crédibilité des institutions

Les enquêtes menées en Grande Comore montrent que 85% des enquêtés ne font pas confiance aux autorités comoriennes pour assurer leur protection face aux aléas [Morin et Lavigne 2009]. Ce manque de confiance est en partie attribuable à l'ensemble des défaillances précitées perçues par les populations. A La Réunion comme en Grande Comore, les populations témoignent par ailleurs en entretien, d'un manque de confiance dans les autorités lié à la corruption présumée ou attestée de certains gestionnaires (maire de Saint-Philippe en 2007, chef du service de sécurité civile de l'armée aux Comores en 2006, entre autres exemples).

Enfin, la façon dont les crises sont gérées, selon qu'elle est performante ou non, joue sur la crédibilité des gestionnaires [Johnston et Ronan 2000]. Les études consécutives à la gestion de la crise du chikungunya [Watin 2009] ont montré dans quelle mesure, durant la crise de 2005, la négation par les experts et autorités de l'importance de l'épidémie avait été la source d'une perte de confiance des insulaires. Cette défiance encourage les médias à devenir incisifs et à adopter un registre polémique dans un contexte insulaire où la pression médiatique est souvent importante quand des aléas naturels se produisent[183] :

[181] http://www.ambafrance-km.org/Le-volcan-Karthala-Presentation

[182] http://www.karthala.org/ renvoie à une erreur « page non disponible » en septembre 2012.

[183] Notons que c'est également valable à l'échelle nationale. On peut citer les exemples récents de Xynthia, et des inondations du Var pour lesquelles Météo France n'a émis qu'une alerte orange, suscitant l'incompréhension de l'opinion publique.

épidémie du chikungunya [Péton-Klein et Chaize 2007 ; Watin 2009], tsunamis [Sahal et Morin 2012] ou éruptions volcaniques [Simonin 2005]. Un problème majeur, concomitant avec la perte de crédibilité des autorités, est le risque d'une sous-estimation des futures alertes par les populations.

## 1.2. FACTEURS CULTURELS

Nous revenons sur quelques exemples de facteurs culturels qui impactent positivement ou négativement les capacités de gestion de crise. Une thèse récente est consacrée à ces facteurs [Mas 2012], le lecteur pourra s'y référer pour approfondir cette thématique.

### 1.2.1. Représentations et croyances

#### ❖ *Le poids de la religion*

*« Tu sais, les musulmans ils se tournent vers le Nord pour prier… et depuis que le Karthala est entré en éruption le Nord a changé de direction… le matin, au réveil, tout le monde se tourne vers lui ! »* Soilha, dans un taxi entre Moroni et Itsandra, mai 2007.

Quelques auteurs ont dédié des articles à l'influence de la religion sur la perception des risques et le comportement des populations face aux aléas naturels [Bankoff 2004 ; Chester 2005 ; Quesada 2005 ; Chester *et al.* 2008 ; Gregg *et al.* 2008]. Chester *et al.* [2008] montrent que l'idée d'une responsabilité divine des désastres a été remplacée dans les sociétés post-modernes par les idées de nature dé-moralisée et d'aléas affectant des enjeux vulnérables.

Effectivement, à La Réunion, les éruptions de la Fournaise étaient anciennement assimilées à des châtiments divins en réponse aux péchés humains [Eve 2005], et le clergé intensifiait et exploitait cette croyance [Bosquet 2005]. Cette idée s'est progressivement résorbée, même si de nombreux Réunionnais conservent des croyances, notamment liées au fait qu'à trois reprises des coulées volcaniques ont épargné de peu des symboles religieux forts : l'église de Piton Sainte-Rose en 1977, la Vierge au Parasol (« *il est vrai que la statue, propriété du diocèse, a été un peu aidée puisque déplacée* »…) et une chapelle de Saint Expédit [Simonin 2005]. En avril 2007, la ferveur religieuse pourrait avoir joué, consciemment ou non, dans l'agitation et la mauvaise interprétation de l'aléa par certains habitants du Tremblet. Les éruptions hors-Enclos de 1977 et 1986, seules éruptions à avoir engendré des dégâts au cours des dernières décennies, se sont toutes deux produites durant les fêtes de Pâques. Le 6 avril 2007, alors que Radio Freedom diffuse toute la journée une édition « spéciale Tremblet », deux auditeurs appellent pour demander que l'émission s'arrête quelques minutes à 15h, afin de respecter l'heure de la Miséricorde catholique, heure du début de la messe du Vendredi Saint. C'est justement vers 15h que les esprits s'emballent : les fontaines présentes dans l'Enclos sont considérées à tort comme des coulées hors-Enclos par les populations puis les gendarmes, et que la décision d'évacuer le Tremblet est prise à tort.

*Figure 100 - Les fidèles prient la Vierge au Parasol devant Notre-Dame-des-Laves à Piton Sainte-Rose (10/01/2010)*

Aux Comores, la nature reste encore aujourd'hui pleinement moralisée. Les réveils du Karthala sont avant tout assimilés au châtiment divin, en réponse aux péchés commis par les hommes. Au cours de l'éruption de mai 2006, des milliers de personnes se sont ainsi pressées dans les mosquées et les stades (transformés en lieux de culte) pour entonner des prières communes destinées à calmer les éléments [Morin et Lavigne 2009]. Parallèlement, les conséquences des éruptions sont également interprétées comme le fruit d'une intervention divine positive pour récompenser les hommes de leurs bons comportements. Cette croyance alimente des comportements à risque, comme à M'Djoyesi en 1977. Lorsqu'un évent éruptif s'ouvre à seulement un kilomètre du village, les gens restent chez eux à attendre les retombées de cendres sur leurs maisons. Ces retombées sont en effet considérées comme un don divin leur permettant de restaurer leur mosquée [Krafft 1983]. Nous avons décrit un processus similaire à Vouvouni de 2006 à 2009 : les habitants exploitent les lahars à des fins personnelles ou pour en faire don à leur mosquée [Morin 2007 ; Morin et Lavigne 2009 ; Morin et Gaillard 2012]. Enfin, les événements sont parfois vécus comme un simple message divin. En revenant à Singani quelques semaines après l'éruption destructrice de 1977, les habitants constatent que la mosquée a été épargnée. Cela les conduit à reconstruire leur village au même endroit [Krafft 1982]. Dans ce cas, la ferveur religieuse est doublée d'une croyance traditionnelle qui veut que la lave ne passe jamais deux fois au même endroit (« *dzaha kariwara dzaha*[184] »). L'origine divine des éruptions du Karthala est citée par 15% des interviewés (E-GC2a). Ce pourcentage est très certainement sous-estimé, les interviewés étant réservés lorsqu'il s'agit d'aborder des sujets aussi intimes que les convictions religieuses. Chester *et al.* [2008] relèvent la même entrave lors de leurs enquêtes. Quand nous avons cherché à évoquer directement cette question en entretien, certains interviewés ont affirmé qu'il était inutile de l'aborder, tant le rôle de Dieu est évident et intrinsèque. Même certains scientifiques comoriens croient d'ailleurs en l'intervention divine lors des réveils du volcan.

Ces croyances permettent en partie d'expliquer l'absence de mesures pour faire face aux aléas volcaniques : les populations ne cherchent pas à se protéger elles-mêmes, leur protection étant remise dans les mains d'Allah. Des comportements similaires ont été observés sur le plateau de Dieng en Indonésie [Lavigne *et al.* 2008]. Les croyances fournissent ainsi un support pour une large acceptation du risque et indirectement une raison pour ne pas se préparer aux crises.

[184] Littéralement « la lave ne marche pas sur la lave ».

### ❖ *Autres mythes et croyances*

Le Karthala, longtemps après Saba[185], continue à alimenter des croyances. Lorsqu'il entre en éruption, c'est qu'il a mal au ventre. Une fois qu'il a vomi, il va mieux et cesse son activité. Une version contradictoire voudrait qu'il ait faim et dévore tout sur son passage et ne s'arrête qu'une fois arrivé à la mer[186]. Initialement Shungu (d'où les cratères du Karthala, le Choungou Chahale et le Choungou Chagnoumeni, tirent leur nom) signifie d'ailleurs marmite. Si la plupart des Grand Comoriens redoutent ce monstre dévastateur et dévoreur, ils sont également nombreux à le considérer comme une partie intégrante de leur identité dont ils ne pourraient se passer : c'est le massif qui résume la Grande Comore, toute l'île n'est que Karthala [Morin 2007]. Ils voient d'ailleurs dans les éruptions successives le symbole de la réunification politique des îles de l'Union, comme l'exprime le romancier Salim Hatubou [2004b] : « *Ah, Karthala, tu penses que ton passage sera une malédiction pour notre peuple ? Non, te dis-je. Tu passeras par les océans et tu t'éteindras. Ainsi, ta lave solidifiée réunira à jamais nos quatre îles* ». Impossible aux Comores du fait de l'éloignement des îles, cette situation s'est réalisée aux Açores en 1957 lorsque l'île de Capelhinos s'est rattachée à celle de Faial après 18 mois d'activité. Cette réunification virtuelle est revenue plusieurs fois en entretien et au cours de discussions informelles, de même que celle d'une nouvelle île poussant au milieu de l'océan pour remplacer l'île perdue de Mayotte. L'occurrence de l'aléa est alors synonyme de stratégie efficace pour réduire fictivement toutes les vulnérabilités : la réunification des îles signifierait la fin des problèmes politiques et géopolitiques, et par conséquent une amélioration de la situation socioéconomique.

D'autres amalgames de ce type sont régulièrement faits ailleurs dans le monde : en mai 2006, la cause du réveil du Karthala est attribuée à l'activité du Merapi sur l'île de Java. L'idée d'une connexion souterraine avec le Piton de la Fournaise est également largement répandue en raison des éruptions de 1977 qui ont eu lieu à quelques jours d'intervalle sur les deux îles. L'augmentation récente de la fréquence éruptive serait quant à elle une conséquence directe du réchauffement climatique, la Terre ayant besoin de se libérer de son magma pour se refroidir. Ces idées montrent que la connaissance des processus volcaniques est faible, basée sur des légendes et rumeurs. On comprend ainsi mieux certaines difficultés rencontrées lors d'une gestion de crise, comme le manque de confiance envers les scientifiques, se traduisant, par exemple, par des refus d'évacuation.

### ❖ *Expérience, oubli et risque acceptable*

Nos RETEX ont montré que les sociétés réunionnaises et comoriennes n'étaient pas préparées à faire face à des aléas oubliés ou d'une intensité inhabituelle.

Historiquement, la Fournaise et le Karthala ont connu des phases explosives décrites dans la littérature (cf. Chapitre II). A La Réunion, l'éruption de 2007, d'une intensité supérieure à la « normale », a conduit, dans le cadre du projet Aléas, à s'intéresser aux événements majeurs pour les prendre en considération dans la planification de la gestion de crise. Avant 2007, ils étaient totalement occultés. Les lahars qui affectent les pentes du Karthala depuis 2005 sont également décrits comme des phénomènes nouveaux, mais ne sont à ce jour toujours pas considérés dans les plans de gestion, alors que des dépôts historiques témoignent de l'ancienneté et de l'intensité potentielle du phénomène (Figure 90, p.258). En 2012, ils continuent à provoquer des dégâts importants.

[185] Selon une légende, un djinn aurait volé le trône de la reine de Saba et l'aurait jeté au sommet du Karthala où s'ouvrit la caldeira. Pour d'autres, c'est la bague du prophète Salomon qui aurait été jetée dans le cratère.

[186] « *Dzaha kali ziya raha ledja yela* » : la lave n'arrête pas sa marche tant qu'elle ne s'est pas jetée dans l'océan.

Au Karthala, en 2005, l'expérience des phénomènes éruptifs se résume à la coulée de lave destructrice de 1977. Les éruptions explosives de 2005 font figure de phénomène nouveau, laissant l'ensemble de la population complètement désemparée, bien qu'une éruption phréatique ait déjà eu lieu en 1991[187]. En 2006, un lac de lave sommital illumine le panache de gaz libéré par l'éruption. Les Comoriens, à la vue du ciel rougeoyant, pensent être menacés par d'immenses fontaines de lave.

Outre ces phénomènes « nouveaux », des phénomènes habituels mais d'intensité rare peuvent également être mal interprétés. C'est le cas à La Réunion en 2007, lorsque les incendies dans les remparts et les fontaines de lave sont pris pour des coulées hors Enclos. Cette expérience a prouvé qu'une bonne connaissance de l'aléa permet d'éviter ce type d'écueil : les « habitués » de la Fournaise interprètent correctement l'aléa contrairement aux autres personnes présentes sur le site. Le 6 avril 2007, les auditeurs de Radio Freedom témoignent de leur inquiétude à la vue du panache de gaz qui grossit au-dessus de la Fournaise, se demandant si des retombées doivent être attendues sur toute l'ile. Un auditeur compare même le phénomène au panache de cendres du Pinatubo en 1991. Dans les deux cas, cette mauvaise interprétation des phénomènes éruptifs témoigne d'un manque de connaissance et d'expérience du risque, susceptible d'engendrer des réactions inadaptées des populations en temps de crise (évacuation inutile ou trop précoce, phénomène de « panique », etc.)

La répétition d'événements est un facteur permettant de contribuer à une meilleure conscience du risque volcanique et à un intérêt renouvelé pour l'information et l'éducation. Perry et Lindell [2008] révèlent que l'expérience des éruptions précédentes joue de façon essentielle sur les adaptations comportementales face à la menace. Nos RETEX montrent que ces adaptations ne constituent pas toujours un progrès : l'expérience peut en effet être à l'origine de comportements susceptibles de nuire à l'interprétation des aléas et/ou à la bonne gestion de la crise. D'une part, certains habitants, forts de leur expérience, se sentent parfois aptes à interpréter les phénomènes mieux que les scientifiques, alimentant des rumeurs sur la nature de l'activité. D'autre part, cette expérience peut alimenter des réactions excessives. Au cours des éruptions du XXI$^{ème}$ siècle en Grande Comore, la mémoire de l'éruption de 1977 à Singani a, au lieu d'aider à bien réagir, contribué à aviver la peur de nouvelles coulées destructrices dans les zones habitées, provoquant des évacuations spontanées [Morin et Lavigne 2009]. De même, à La Réunion, le vécu de l'éruption de 1986 a indéniablement joué sur la peur et l'annonce d'une nouvelle coulée hors-Enclos lors de l'éruption de 2007.

Sahal et Morin [2012] ont montré que la répétition de phénomènes de faible amplitude non-meurtriers a fait des tsunamis à La Réunion un sujet de curiosité : chaque alerte engendre le déplacement de personnes sur les quais des ports, attendant avec engouement de voir le tsunami et s'exposant inconsciemment à celui-ci. Il en est de même face aux coulées de la Fournaise, que le public juge par nature inoffensives alors qu'elles peuvent occasionnellement se révéler dangereuses. A La Réunion, c'est principalement l'attrait du spectacle qui guide les comportements du public. En Grande Comore, le seul cas de coulée bien documenté est celui de 1977 : des habitants se déplacent de l'île entière pour approcher la coulée, cette fois ci dans un but thérapeutique, persuadées que le contact des gaz et de la lave permettra de résoudre leurs problèmes respiratoires et cutanés.

[187] Il est vrai que l'éruption de 1991 était d'une intensité moindre, ses dépôts pyroclastiques n'ont recouvert que la partie sommitale des flancs du Karthala.

### 1.2.2. Rumeur et culture orale

#### ❖ *Le phénomène Freedom à La Réunion*

A La Réunion, la rumeur est rapidement et largement relayable en raison d'un système médiatique favorable à son développement. Comme vu précédemment (Chapitre IV), Radio Freedom est le média le plus populaire de l'île, en tête de l'audimat radiophonique. Son concept participatif permet la libre expression des auditeurs, qui pour certains s'improvisent experts ès volcanologie, notamment lors des crises. Les interventions en direct génèrent émotion et suspens, ingrédients qui permettent de tenir l'auditeur captif. Radio Freedom n'est toutefois pas le seul média à véhiculer des informations nuisibles à la bonne gestion des crises. La plus étonnante rumeur diffusée pendant une éruption de la Fournaise est sans doute celle de 1986 : sur les ondes de France Inter, des journalistes annoncent que l'île va se couper en deux et qu'il y aura de puissantes explosions. Les lignes téléphoniques sont alors rapidement saturées par les appels de Réunionnais de métropole qui s'inquiètent [Mairine *et al.* 2010]. Fruet [2005] met en évidence le fondement historique des rumeurs sur la Fournaise, relatant les récits presque systématiquement de seconde main glanés auprès des rares voyageurs qui se sont approchés du volcan à partir du XVII$^{ème}$ siècle.

Pour Lazar (1995 in Watin [2009]) « la rumeur peut être interprétée comme « un produit de l'effort collectif pour interpréter une situation problématique, non traitée par les voies institutionnelles ». Au Teide en 2004, la presse lance effectivement des rumeurs car les scientifiques ne sont pas en mesure de se mettre d'accord publiquement sur le développement de l'activité volcanique [Perez 2010 ; Villalba 2010]. La population se met alors à ressentir des séismes qui ne sont pas détectés par le réseau de surveillance sismique [Bailey *et al.* 2010]. Dans le cas réunionnais, on note que le système médiatique permet aux populations de diffuser la rumeur avant que la situation problématique ait pu être considérée par les autorités. La rumeur ne répond pas ici à une carence institutionnelle, mais à un fonctionnement culturel répandu à La Réunion et qui porte un nom propre : le « *ladilafè* ».

#### ❖ *La Grande Comore, territoire de tradition orale*

En Grande Comore, la diffusion des informations se fait essentiellement par bouche-à-oreille, localement appelé « *radio baobab* ». Ce fonctionnement est, en premier lieu, lié au fait que l'île est un milieu d'interconnaissance. Pour exemple, en avril 2007, le responsable comorien de l'OVK, largement connu sur l'île, est aperçu dans un camion militaire aux côtés de scientifiques français. Alors qu'il s'agit d'une simple mission de recherche, la rumeur se répand dans le Bambao, région de Moroni : la conjonction de la venue de scientifiques étrangers, de la présence du responsable de l'OVK et de l'intervention de l'armée signifie qu'il y a nécessairement un problème au volcan[188].

En aout 2012, le responsable de l'OVK est réveillé en pleine nuit en raison de la suspicion d'un début d'éruption à Itzoundzou. Arrivé au petit matin sur place, il s'aperçoit qu'il ne s'agit que d'un incendie provoqué par un problème sur un poteau électrique. Une fausse alerte avait également été relayée par l'Ambassade des Etats-Unis aux Comores en mai 2012 suite à une rumeur semblable. On constate, dans ces cas, que le principal moteur de la rumeur est le manque de connaissance. La rumeur s'éteint immédiatement lorsque le responsable de l'OVK transmet son expertise.

[188] Peu après, une fois les renseignements pris à l'OVK par quelques personnes, le message rectificateur est diffusé par les mêmes canaux officieux.

### 1.2.3. Le poids des coutumes et des héritages

#### ❖ *Le Grand Mariage*

L'organisation sociale en Grande Comore est essentiellement dictée par la coutume du Grand Mariage qui permet l'accession au rang de Grand Notable [Blanchy 2003 ; Blanchy 2005 ; Shepherd 2008]. Les communautés s'en remettent aux décisions des notables de leur village. Bien que seules 10% des personnes interrogées affirment accorder du crédit aux avis émis par ces notables, ils respectent leurs décisions et s'y soumettent. Inversement, les personnes qualifiées et/ou diplômées ne sont pas reconnues tant qu'elles n'atteignent pas ce niveau social. En temps de crise, les préfets font exécuter les directives qui viennent du COSEP à la population via les chefs de village, membres de la notabilité. Ceux-ci ont parfois une interprétation très personnelle des phénomènes volcaniques qui influence les réponses adoptées par les communautés pendant les crises.

#### ❖ *Le poids des héritages post-coloniaux*

- **Antagonisme « deor-dedan »**

« *La matrice socio-politique de La Réunion, fondamentalement structurée par la référence à la métropole, fonctionne sur deux horizons politiques, l'ensemble national français et l'espace insulaire* » [Simonin 2000]. La tension entre ce « *deor* » et ce « *dedan* » en créole [Watin 2001] s'exprime de façon latente, et plus ouvertement lors de certaines crises. Ainsi, en 2005, lors de l'épidémie du Chikungunya, les élus locaux soupçonnent le traitement inégal de La Réunion par rapport à la métropole : « *L'intérêt de santé publique deviendrait certainement plus criant si l'épidémie atteignait significativement la métropole* » (JIR, 4.10.2005 in Watin [2009]). On retrouve cet antagonisme « deor-dedan » de façon récurrente au cours des crises volcaniques, exprimé cette fois-ci directement par les populations. Le 6 avril 2007, à 17h53, après l'ordre d'évacuation du Tremblet, un Saint-Philippois intervient en direct sur Radio Freedom pour s'indigner du dispositif de crise et de la fausse alerte : « *Moi je peux analyser s'il y a un danger ou non. C'est moi qui habite le Tremblet, ce n'est pas Monsieur Plaine des Cafres, Monsieur Saint-Denis*[189] *ou Monsieur qui avez les pieds deor…* ». Certains habitants de l'île s'opposent par principe à ce que « leur » volcan soit géré par les représentants du « *deor* ». Ce dénigrement du pouvoir préfectoral découle entre autres d'héritages coloniaux restés profondément ancrés dans l'esprit de certains créoles. Le volcan est, au même titre que les cirques, le refuge historique des *Marrons* fuyant l'esclavagisme. Dans « *Le Volcan à l'envers ou Mme Desbassyns, le Diable et le Bondieu* », Gamaleya [1983] décrit le volcan comme le « *lieu symbolique d'une revanche historique* » [Matiti-Picard 2005]. Les rôles sont inversés entre esclaves et maîtres : les esclaves prennent leur revanche, et Madame Desbassyns, célèbre esclavagiste, y expie ses fautes [Bosquet 2005 ; Eve 2005 ; Meitinger 2005]. Dans ce contexte culturel, les interdictions d'accès au volcan sont perçues comme une ingérence[190]. Pourtant, jusque dans les années 1980, le volcan est le « *lieu des mauvais esprits, et générateur de peur. On n'en parle qu'avec crainte, on ne le fréquente pas ; et ceux qui s'y hasardent, au demeurant peu nombreux, suscitent l'incompréhension* » [Simonin 2005]. La dynamique de réappropriation du volcan est donc récente[191].

[189] Le directeur de l'OVPF et le préfet.

[190] Evidemment, la majorité des visiteurs cherchent seulement à accéder à une forme de spectacle sans aucunement entrer dans ce type de considération.

[191] Cette dynamique n'est pas uniquement porteuse d'une contestation contre le *deor* métropolitain. En 2006, deux nouveaux cônes, érigés par une éruption dans le Dolomieu, sont respectivement nommés Wouandzani et Moinama. Cela provoque l'incompréhension de Réunionnais qui leur aurait préféré des noms créoles et expriment leur désapprobation sur des forums internet.

- **Aux Comores, une planification des crises calquée sur le modèle occidental**

En Grande Comore, le PNPRU est constitué de « fiches réflexes » calquées sur celles de la planification française (de laquelle elles ont d'ailleurs depuis disparu). Ces fiches ont été conçues en français avec le soutien des Nations-Unies. Elles ne sont donc pas des plus adaptées pour une utilisation aux Comores, où les gestionnaires impliqués dans le PNPRU s'expriment entre eux principalement en shikomori. C'est également la langue principale utilisée pour communiquer avec les populations. On peut plus largement s'interroger sur l'efficacité de ce type de document dans une société de tradition beaucoup plus orale qu'administrative.

## 1.3. FACTEURS SOCIO-ECONOMIQUES

Des études récentes [Dove 2008 ; Gaillard *et al.* 2008c ; Haynes *et al.* 2008 ; Kelman et Mather 2008 ; Lavigne *et al.* 2008] ont démontré que l'accès aux ressources constitue le plus souvent un facteur d'explication du comportement des populations face aux aléas volcaniques. Elles ont tendance à considérer les bénéfices qu'elles peuvent tirer de leur exposition, développant des activités dans les zones très exposées en échange d'un meilleur accès aux ressources [Haynes *et al.* 2008]. En Grande Comore, bien que 95% des répondants considèrent le Karthala comme dangereux (dont 38% parce qu'il pourrait entraîner leur mort), 28% d'entre eux le considèrent comme une ressource touristique et énergétique potentielle. Suite au colloque organisé sur la réduction des risques liés au Karthala en octobre 2008 à Moroni, la presse comorienne a largement communiqué sur le *volcan-ressource* au détriment du *volcan-menace*.

### 1.3.1. L'accès aux ressources, obstacle à la gestion de crise

#### ❖ *Facteurs économiques contribuant au développement des crises*

Nous avons longuement développé l'exemple très parlant de Vouvouni, où l'on a noté une exposition volontaire à l'aléa lahars et son renforcement artificiel. Les gens ont ainsi choisi de s'exposer plus délibérément aux lahars pour satisfaire leurs besoins quotidiens. Il semblerait que cette stratégie de renforcement artificiel soit spécifique à Vouvouni. En revanche, d'autres cas d'exposition volontaire (consciente ou non) sont décrits dans la littérature, notamment sur l'île de Java : mineurs exploitant les dépôts de lahars au Merapi [De Bélizal *et al.* 2011b], porteurs de soufre au Kawah Ijen inhalant quotidiennement du $SO_2$, planteurs de pommes de terre exposés aux gaz nocifs voire mortels de Dieng [Lavigne *et al.* 2008], etc. Ce choix relève d'un rapport coût-bénéfice qui évolue dans le temps. A Vouvouni, les lahars sont d'abord perçus comme une ressource, l'exploitation du sable se révélant plus rentable pour les propriétaires terriens que l'agriculture de subsistance qu'ils pratiquaient sur site avant les lahars. Pour l'ensemble de la communauté, cette exploitation permet de générer des emplois et des revenus supplémentaires. Rapidement, le bénéfice tiré de l'exploitation des dépôts n'étant plus suffisant au regard des dégâts occasionnés, l'aléa-ressource devient aléa-menace [Morin et Gaillard 2012]. Dans le cas de Vouvouni, ces comportements liés à l'accès à des besoins quotidiens sont crisogènes.

La gestion de l'accès aux cratères de la Fournaise a posé le problème de l'accès aux ressources des professionnels du secteur touristique réunionnais, le volcan étant la première destination de l'île (d'autant plus que la politique d'accès au volcan s'est durcie à un moment où le tourisme réunionnais subissait la crise du chikungunya). La pression exercée par les acteurs du tourisme sur les autorités pour demander la restitution de cette ressource pourrait avoir joué un rôle dans l'évolution de la gestion de la crise de « 2007 ».

Notre enquête (E-RUN-4) a permis de constater que 44 % des personnes interrogées dans le « Sud sauvage » en 2008 n'avaient pas souscrit d'assurance multirisques habitation, confirmant la mauvaise couverture assurantielle dans les DOM mise en évidence par Calvet et Grislain-Letrémy [2010]. Les personnes interrogées évoquent le plus souvent un manque de moyens financiers ou un manque de confiance en la possibilité de remboursement, puisque jusqu'en 2007, aucune éruption n'avait fait l'objet d'une indemnisation.

### ❖ *Une absence de ressources préjudiciable à la surveillance et à l'alerte*

Cette nécessité d'accéder aux ressources handicape également aux Comores les capacités de surveillance volcanique et d'alerte. L'observatoire volcanologique est en effet le premier à faire les frais de cette logique : panneaux solaires, batteries, et divers éléments des stations de surveillance placées sur les flancs et au sommet du volcan disparaissent régulièrement depuis une quinzaine d'années, chapardés par la population locale. Privé de ses capteurs, l'observatoire n'est plus en mesure de surveiller l'évolution de l'activité du Karthala alors qu'il est le premier maillon de la chaîne de gestion des crises volcaniques sur l'île. Dotées de panneaux solaires, certaines communautés bénéficient enfin quant à elles d'un accès plus pérenne à l'électricité… Ironie du sort, c'est dans le village le plus proche des cratères, particulièrement exposé, que le plus grand nombre de panneaux subtilisés a été recensé en 2007. Ce type de pratique est monnaie courante dans les pays en développement, comme en Indonésie ou au Yémen, mais également dans les pays du Nord et départements français d'Outre-Mer (ces dernières années, station sismique en Guadeloupe ou sirènes d'alerte aux tsunamis en Nouvelle-Calédonie par exemple).

Les comportements délictueux sur les stations de l'OVK montrent que des stratégies de gestion de crise sont complexes à mettre en place tant qu'un accès aux ressources fondamentales n'est pas assuré [Morin 2008].

Pour tenter de remédier à ces problèmes, l'OVK a mis en place en 2003 une campagne de sensibilisation contre les dégradations du réseau. Des autocollants ont été apposés sur les stations de surveillance, juxtaposant le logo de l'Observatoire et la sourate 5 du verset 38 du Coran « Le voleur, homme ou femme, on lui coupe la main » (Figure 101). Bien qu'un paramètre essentiel de la culture locale ait été pris en compte[192], cette campagne élude la question de l'accès aux ressources. Il était donc illusoire qu'elle se révèle efficace.

[192] Des actes de vandalisme sont également commis sur le réseau de l'OVK, peut-être dans un esprit d'opposition à l'implication croissante des étrangers dans la surveillance du volcan. Le vandalisme pourrait également représenter un rejet de l'instrumentation scientifique synonyme d'une négation de la toute puissance divine dans les réveils du volcan.

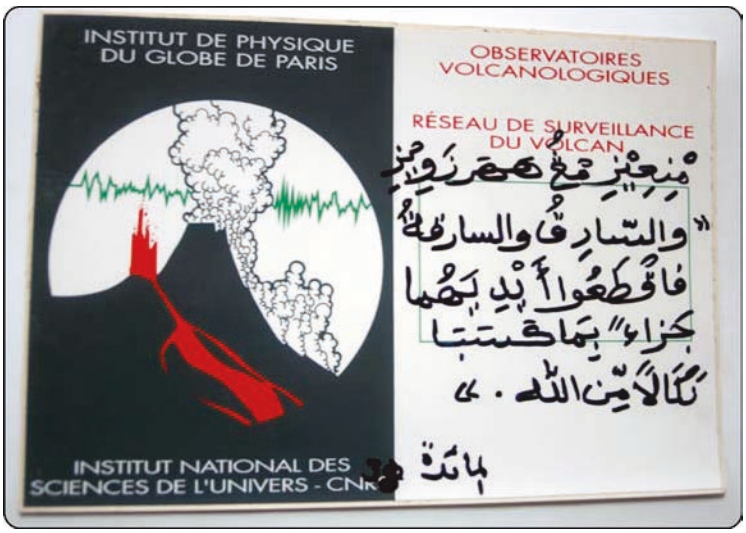



*Figure 101 - Campagne de sensibilisation contre les vols prenant pour argument la loi islamique*

❖ ***La protection des moyens de substistance : entrave aux évacuations***

Tous aléas et toutes nations confondus, l'accès aux moyens de subsistance est une problématique récurrente lorsqu'une évacuation doit être entreprise. En 2005, à La Nouvelle-Orléans, le bilan de l'ouragan Katrina s'expliquerait en partie par une incapacité de nombreux habitants à évacuer à temps faute de ressources. Ces derniers ont en effet dû attendre la fin du mois pour percevoir leur pension [Lagadec 2007a, b ; Kelman 2008].

Lors de l'éruption de la Soufrière de 1976, les habitants hésitent à évacuer car c'est la pleine saison de récolte des bananes, pivot économique de l'île [Stieltjes 2003]. Des cas de résistance à l'évacuation ont également été constatés à Montserrat lors de la crise de juin 1997, la population souhaitant rester sur place pour cultiver et se nourrir[193] [de Vanssay et Colbeau-Justin 1999]. Au Merapi, la non-évacuation du bétail (vaches et chèvres) est le principal motif de refus d'évacuation [Mei et Lavigne in press]. Des considérations économiques motivant un refus d'évacuer ont également été observées à La Réunion en 2002 et 2007. En 2002, une suspicion d'éruption hors-Enclos entraine une évacuation du village de Bois-Blanc. Certains habitants refusent d'évacuer tant que leurs moyens de subsistance ne sont pas sécurisés. Un éleveur du village attend ainsi l'enlèvement de ses 3500 poules par l'abattoir, opération qui ne peut être réalisée que de nuit et qui nécessite plusieurs heures. A La Réunion en 2002 et 2007, certains refus d'évacuer sont motivés par une peur des cambriolages, expérimentés au cours des éruptions de 1977 et 1986. Faute d'être pris en compte par les autorités, l'accès aux moyens de subsistance et la protection des ressources peuvent donc constituer un obstacle majeur à la gestion des crises.

### 1.3.2. L'accès à la ressource culturelle

L'opposition *déor-dedan* décrite précédemment est loin d'expliquer à elle seule le refus des interdictions d'accès au volcan. La Fournaise constitue aux yeux des touristes comme des populations résidentes un lieu symbolique auquel il est naturel et surtout légitime d'accéder. Ils consentent à s'exposer à l'aléa et aux (rares) mesures répressives mises en place par les autorités pour conserver cet accès. La parodie (Figure 102 B) d'une publicité officielle de l'Institut Réunionnais du Tourisme lancée en mars 2008 (Figure 102 A), invitant les touristes à aller profiter du spectacle pour « *90 euros d'amende en toute liberté* », montre

[193] Mais également en raison de considérations sociales (crainte des conditions de sécurité dans les abris) et personnelles (intimité, dignité).

combien l'accès libre au volcan est important pour les populations. L'Association Citoyenne de Saint-Pierre, se plaint d'ailleurs pendant l'éruption d'avril 2007 que la vue de la lave soit réservée aux riches qui peuvent se payer un tour en ULM ou en hélicoptère. Dans ces conditions, la gestion de la crise volcanique telle qu'elle a été conçue par les autorités, fondée sur des interdictions, s'avérait par essence inadaptée.

*Figure 102 - Parodie d'une campagne touristique reposant sur l'attrait du volcan en éruption (A : campagne officielle, source IRT ; B : campagne déviée évoquant le prix dérisoire des amendes au regard du spectacle accessible, source anonyme, disponible en ligne http://www.zinfos974.com/Detournement-de-pub_a2682.html le 23 décembre 2008)*

### 1.3.3. La crise économique comorienne, obstacle majeur à la gestion des crises

La capacité de gestion de crise d'un pays est intrinsèquement liée à son niveau de développement socio-économique. Notre RETEX de mai 2006 a montré combien les Comores sont dépendantes de l'aide extérieure pour gérer les crises. Dans la lignée des tensions politiques décrites en 1.1.3 (page 285), le contrat qui liait la Société Nationale des Hydrocarbures des Comores au groupe français Total n'a pas été renouvelé à son expiration. L'Iran et le Yémen, nouveaux partenaires, n'ont pas été en mesure d'approvisionner à temps les citernes comoriennes. De juin à septembre 2008, des problèmes d'approvisionnement en pétrole ont alors paralysé le pays. Plus aucun transport routier n'était fonctionnel (menant par exemple à l'annulation des examens académiques comme le baccalauréat), l'électricité était rationnée et fonctionnait uniquement à Moroni de 18 à 22 heures, et l'accès à l'eau était coupé car il repose sur l'électricité (pompes électriques). Le prix de la nourriture a explosé et les Comoriens ont appelé à la démission du Président de l'Union. C'est dans ce contexte qu'a eu lieu une partie de la campagne de sensibilisation aux risques volcaniques menée conjointement par la CRF, le CRCo et l'Université de La Réunion. On imagine difficilement que des actions, même mineures, puissent être gérées correctement dans de telles conditions. La crise socio-économique est ainsi un obstacle à la préparation aux autres formes de crise. Si aucun ouvrage de protection n'a à ce jour été édifié pour lutter contre les lahars à Vouvouni, il s'agit avant tout d'un problème de moyens[194]. Plutôt que d'inciter la diaspora à aider les communautés locales dans la préparation aux crises, les éruptions de 2005, 2006 et 2007 ont constitué un

[194] Certains voient avant tout dans les manques d'investissements pour faire face aux risques et aux crises un manque de volonté politique : «*Quand un gouvernement ne met rien dans le panier et le tend vide de tout franc aux partenaires, la signification est simple : on s'en fout des conséquences des mers déchaînées sur nos côtes, des cyclones sur les villages et les cultures, du volcan contre tout ce qui vit. La première caractéristique de notre pays - un petit archipel tropical fragile dans une zone de grandes turbulences naturelles - est ignorée par ces grands bâtisseurs de châteaux de sables. Ce n'est pas la moindre des catastrophes*» [MSAM, Kashkazi n°18, 2005].

frein à leurs investissements sur l'île.

Le Grand Mariage, déjà évoqué en 1.2.3 (page 295), est considéré comme un sujet central de l'économie de la Grande Comore. Certains pensent qu'il incite à la consommation sur le marché intérieur. D'autres au contraire jugent qu'il casse l'économie nationale en absorbant tous les fonds, sans laisser de place pour l'investissement. Des dépenses somptuaires sont faites, plutôt qu'un investissement dans des mesures préventives pour atténuer la vulnérabilité ou se préparer aux crises (ressources durables, couverture des citernes, amélioration des infrastructures, accès à des sources d'énergie alternatives, etc.).

L'analyse intégrale des titres du corpus médiatique en Grande Comore (de 2006 à 2012) montre que les préoccupations permanentes des Comoriens sont : le partage des compétences entre îles, la question de Mayotte, la situation des femmes et la promotion du « genre », les grèves enseignantes, le prix du riz, les problèmes d'électricité, les problèmes sanitaires (choléra, sida et manque de moyens de l'hôpital El-Maarouf), les projets de développement avec les Etats Arabes et la Chine, et enfin, le sport. Dans ce contexte économique, les aléas naturels et la préparation aux crises ne font pas partie des préoccupations principales. Barberi *et al.* [2008] montrent qu'en Campanie, le volcan est un sujet de préoccupation secondaire, effacé par les problèmes quotidiens tels que la pollution. Dans la caldeira du Fogo au Cap Vert, dont la dernière éruption date de 1995, le risque volcanique n'est pas non plus considéré comme une priorité pour les habitants, qui citent comme menaces principales l'alcoolisme, la violence, et les maladies des cultures [MIAVITA in press].

L'impératif de prendre en compte le quotidien des populations pour comprendre les réponses a été largement développé dans un article cosigné avec [Gaillard *et al.* 2010a]. Une des conclusions que l'on peut en tirer est que le renforcement et la protection des moyens de subsistance devrait être au cœur des politiques de réduction des risques et de gestion des crises en environnement volcanique. Ignorer leur importance peut conduire les populations à un manque de confiance dans les politiques officielles de réduction des risques et de gestion de crise. Pour ces raisons, la gestion du risque volcanique devrait prendre en compte une approche durable d'accès aux ressources [Kelman et Mather 2008]. En Grande Comore, les autorités l'ont bien compris : elles souhaitent désormais investir dans l'exploitation géothermique et touristique du volcan, pour en faire un objet central du développement insulaire.

## 1.4. APPROCHE TERRITORIALE

Parmi les causes profondes qui influencent la préparation aux crises et la façon dont elles sont gérées, figurent le rapport au territoire des personnes qui y vivent, et certaines caractéristiques intrinsèques aux territoires insulaires.

### 1.4.1. Un rapport étroit au territoire

#### ❖ *Des réponses apportées pendant les crises dépendantes du lieu de vie*

Comme nous l'avons vu en Chapitre I, le lieu de vie des individus et leur représentation du territoire influencent la façon dont ils répondent aux crises [D'Ercole 1996 ; Leone 2002 ; Leone et Lesales 2009].

En Grande Comore, l'influence de ces paramètres est partiellement confirmée par les résultats de l'enquête (E-GC-2). On observe en premier lieu que le tiers Nord de l'île est considéré comme une zone à l'abri des menaces volcaniques (Figure 103). Il apparait moins menacé que le reste de l'île, sauf pour les locaux (habitants de Mitsamiouli) et les habitants de Singani, dont la perception semble avoir été améliorée par le vécu de l'éruption de 1977. Cela explique que la fuite vers le Nord soit considérée comme plus sure par les

personnes qui évacuent spontanément en cas d'éruption sans en avoir reçu l'ordre (1/3 des interrogés).

La représentation des menaces n'explique toutefois pas la totalité des déplacements, puisque la moitié des personnes évacuent vers Moroni, dans des endroits clef comme l'hôpital, l'OVK ou la gendarmerie. Moroni est pourtant considérée comme menacée. Dans ce cas, les mouvements s'expliquent par la recherche d'une information délivrée dans la capitale à défaut d'être délivrée dans leurs villages. Enfin, sans prendre en considération les critères de menace, 11% des interrogés se déplacent pour rejoindre de la famille là où elle se trouve. D'ailleurs, 52% des comoriens interrogés pensent que l'intégralité de la Grande Comore, donc les zones vers lesquelles elles se déplacent sont menacées par les éruptions volcaniques [Morin et Lavigne 2009]. La représentation spatialisée du risque en Grande Comore renseigne donc partiellement sur les mouvements de population auxquels les autorités peuvent s'attendre en temps de crise.

La proximité au cratère fait varier les représentations du volcan[195], mais ne préjuge pas de la justesse de la perception des espaces menacés. A Idjikoundzi par exemple, un Grand Notable nous a confié en entretien ne pas craindre les colères du Karthala, le village étant « *trop proche du cratère* », nous expliquant que « *le volcan est comme un cocotier : les noix de coco tombent oblique, pas directement dessous* »…

On notera par ailleurs, que seuls certains habitants de Singani semblent avoir considéré le risque en tant que tel et non l'aléa, puisque qu'ils voient le cratère comme une zone moins à risque que les flancs du Karthala. A l'inverse, les habitants des autres localités cartographient majoritairement le cratère comme zone menacée, ce qui explique les forts résidus positifs entre risque réel et risque perçu (Annexe 21).

A La Réunion, une démarche comparable de cartographie des espaces exposés a été entreprise à Sainte-Rose et Saint-Philippe (E-RUN4). Les résultats obtenus sont présentés en Annexe 22 dans la mesure où ils ne présentent pas d'intérêt direct pour la compréhension du comportement des populations en temps de crise.

En dehors des contraintes socio-économiques déjà abordées, l'attachement au lieu de vie joue parfois sur le comportement des populations. A Vouvouni, par exemple, 90% des interrogés déclarent qu'ils ne pourraient pas quitter leur village même si leur maison est envahie par les lahars jusqu'à plusieurs fois par mois, évoquant l'attachement qu'ils y portent.



[195] Lorsque l'on demande aux enquêtés de dessiner le Karthala, les personnes vivant à proximité du sommet dessinent la caldeira vue du ciel, tandis que celles vivant dans les zones littorales dessinent le volcan de profil.

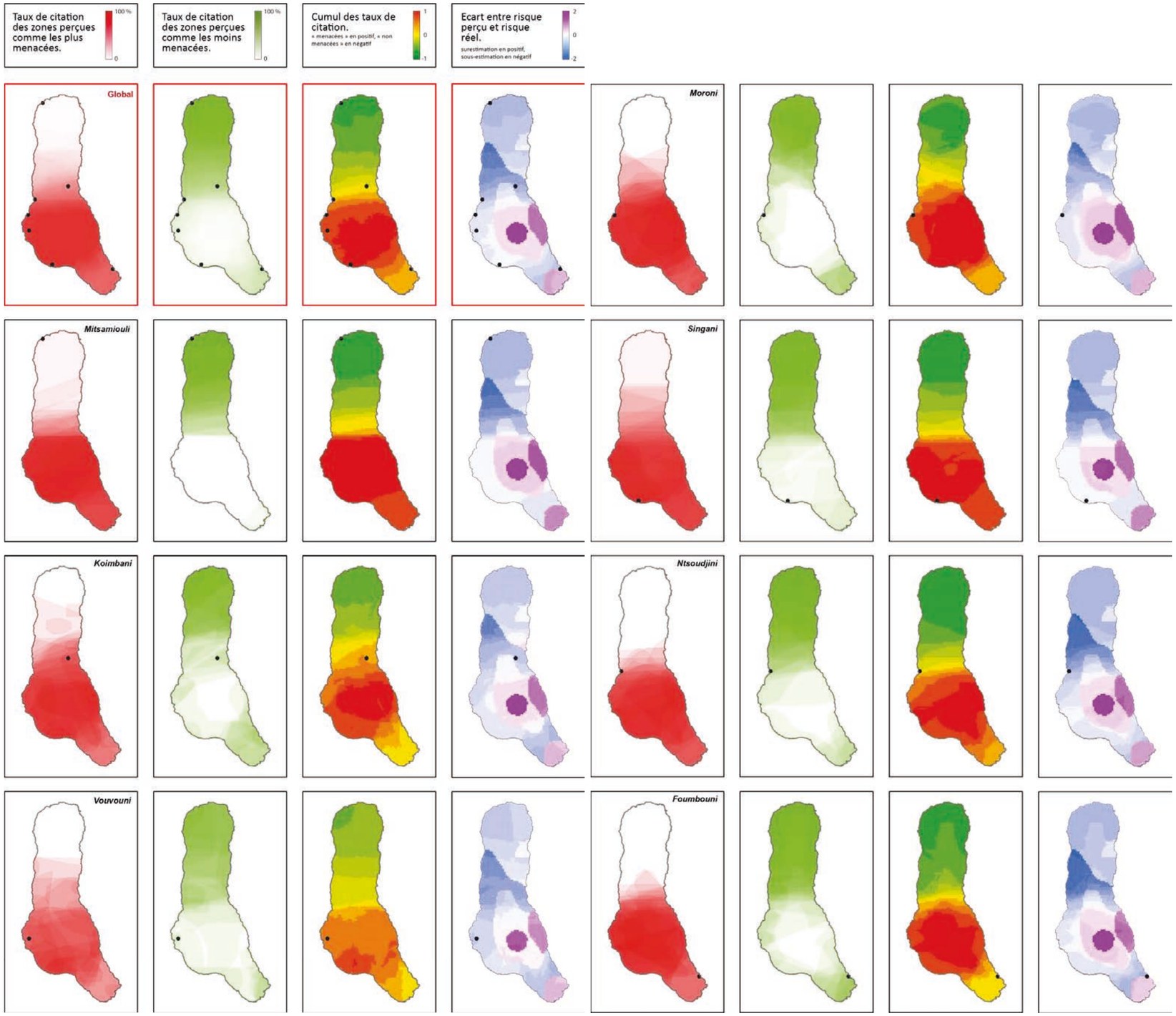



*Figure 103 - Représentations du risque volcanique en Grande Comore : l'écart fourni entre risque perçu et risque réel pourrait servir de base pour cibler des communautés lorsqu'elles ont peu conscience du risque*

#### ❖ *Un territoire perçu différemment par les populations et les autorités*

Nous avons montré, à travers le RETEX sur l'éruption d'avril 2007 à la Fournaise, que les modalités de gestion de crise se sont avérées inadaptées car les autorités ne percevaient pas le territoire de la même façon que les populations. Ainsi, les barrages placés sur les routes n'empêchent pas les piétons de passer puisque leur connaissance fine de la zone leur donne accès à un vaste réseau de sentiers forestiers. A plus petite échelle, le massif volcanique représente pour les populations un symbole de l'île et un lieu qui doit rester libre d'accès, alors que les autorités ferment ce volcan à clefs. Cela dénote des conceptions radicalement différentes de la gestion du territoire en temps de crise.

Par ailleurs, les rapports entre habitants du « Sud sauvage » et gestionnaires du Nord rendent plus difficile la communication de crise. « *Les gens du sud comprennent mieux les gens du sud* » (com. pers. Watin). Dans l'Atlas de La Réunion [CREGUR 2003] est reproduite une carte de l'INSEE représentant la valeur ajoutée marchande par commune en 1997. La carte montre que l'activité économique est concentrée sur les communes du nord essentiellement. Nous constatons que les deux communes du « Sud sauvage » sont qualifiées en termes économiques de « communes petites ou isolées » et que le chômage y est très élevé. Dans ce contexte d'isolement géographique et de faible rentabilité économique, le sentiment d'être « oublié » par le Nord est très fréquent chez les habitants du Sud.

### 1.4.2. Les caractéristiques insulaires défavorables à la gestion de crise

La Réunion et la Grande Comore sont des « petits milieux insulaires » (de moins de 11 000 km² et d'1,5 million d'habitants selon la définition de Taglioni [2003]), caractérisés par leur relative inaccessibilité, la faible connexité de leurs réseaux, leur économie non auto-suffisante, et pour la Grande Comore, par ses difficultés à maintenir des réserves d'eau et d'énergie. Ces facteurs sont communs aux petites îles et en font des territoires particulièrement vulnérables [Pelling et Uitto 2001 ; Haynes *et al.* 2005 ; Kelman et Lewis 2005].

#### ❖ *Une exposition totale du territoire insulaire*

En 2005, les éruptions du Karthala ont fait prendre conscience aux Grand-Comoriens que l'intégralité de leur territoire insulaire pouvait être menacée par une seule et même éruption. L'éruption d'avril 2007 à La Réunion a également rappelé que seuls les cirques pouvaient être protégés des retombées pyroclastiques et gaz dégagés par le Piton de la Fournaise. A Stromboli, en juillet 2010, l'onde de choc liée à une éruption sommitale a fait exploser les vitres de bâtiments localisés sur le littoral et provoqué des incendies dans les zones bombardées par les blocs. L'exiguïté du territoire fait que des aléas, même de faible intensité, peuvent menacer une nation entière en contexte de micro-insularité [Haynes *et al.* 2005]. Cette problématique du territoire de surface réduite se pose de façon aigüe lorsqu'il s'agit de définir des zones-refuge. Elles peuvent être très limitées, voire inexistantes. Nous avons vu que lors des éruptions de 2005 en Grande Comore, des gens originaires des régions périphériques ont afflué vers Moroni, alors que la capitale était elle-même exposée aux retombées de cendres.

Sur les petits territoires, les fonctions essentielles sont souvent concentrées en un seul lieu, comme à Moroni, de sorte que la majeure partie des ressources de l'île peut être perdue si la ville était affectée par les coulées. Même si la Grande Comore n'abrite que peu d'enjeux - ce qui signifie des pertes potentielles limitées -, le ratio des pertes par rapport à l'économie nationale est extrêmement élevé. C'est la typique « vulnérabilité proportionnelle » fréquemment observée comme étant une caractéristique insulaire [Lewis 2009].

### ❖ *La faible connexité des réseaux*

Les petites îles comme la Grande Comore ou La Réunion peuvent être confrontées à des pertes d'accessibilité liées à la faible connexité des réseaux. A La Réunion, en 2007, le cyclone tropical Gamède a ainsi entrainé l'effondrement du pont de la rivière Saint-Etienne, coupant le principal axe de communication du Sud avec l'Ouest et le Nord de l'île. Quelques semaines plus tard, les coulées de lave de l'éruption d'avril 2007 ont coupé la RN2 dans le Grand Brûlé pendant plusieurs mois. Les conséquences de telles coupures se sont avérées problématiques en termes d'accessibilité aux ressources de gestion de crise[196]. La situation aurait pu être particulièrement délicate si ces coupures avaient été synchrones.

Or, certaines éruptions impliquent d'évacuer une grande partie du territoire insulaire (2/3 de Montserrat en 1995), voire sa totalité (Niuafo'ou, 1946 ; Tristan da Cuhna, 1961 ; Heimaey, 1973 ; Izu-Oshima, 1986 ; Miyake-jima, 2000, parmi bien d'autres exemples). Si les évacuations partielles d'un territoire insulaire sont confrontées aux mêmes difficultés que sur les territoires continentaux, les évacuations totales ont la particularité de se faire uniquement par les airs et/ou la mer. Elles nécessitent donc la conjonction de facteurs favorables (disponibilité des moyens d'évacuation, conditions météorologiques acceptables). Pagneux [2005] montre que l'évacuation d'Heimaey en Islande s'est déroulée idéalement car tous les bateaux de pêche étaient au port en raison du mauvais temps qui les avait empêchés de sortir en mer, et que le mauvais temps s'était calmé au moment de procéder à l'évacuation.

### ❖ *Des moyens de gestion dépendants de l'aide extérieure*

Lors de l'éruption du Karthala en 2006, l'Armée Sud-africaine (AMISEC) a prêté main forte au gouvernement comorien pour la gestion de crise. Très souvent en effet, les îles sont tributaires des pays voisins (ou pays d'administration éloignés) pour gérer les évacuations (moyens maritimes et aériens guadeloupéens planifiés pour l'évacuation de Montserrat par exemple), l'accès aux secours, l'approvisionnement en denrées, etc. Dans la plupart des îles, comme à La Réunion, l'éloignement des centres décisionnels situés dans les métropoles ou les systèmes de double - voire triple - administration politique (insulaire, archipélagique et nationale) sont par ailleurs de nature à compliquer la gestion des crises (Teide 2004, Soufrière 1976, Montserrat 1995). La circulation rapide de l'information en milieu « confiné », et l'intégration des populations émigrées comme récepteur et vecteur de l'information (vérifiée ou non), sont aussi des éléments susceptibles d'aggraver les crises. Toutefois, quelques îles comme Hawaii font bien face à aux aléas volcaniques sans aide extérieure, grâce à des systèmes d'alerte performants, des plans d'évacuation d'urgence et une planification de l'occupation des sols.

## 1.5. CONCLUSION SUR LES CAUSES PROFONDES DES REPONSES

Cette étude porte spécifiquement sur les crises volcaniques mais présente l'intérêt de mettre en lumière les causes profondes de dysfonctionnements qui s'appliquent à des crises liées à d'autres aléas.

En Grande Comore, le manque généralisé de moyens semble indiquer que tout événement, même mineur, est susceptible de dégénérer en crise majeure. A La Réunion, la situation est très différente : les capacités de gestion de crise sont bonnes mais la façon dont elles sont imposées aux populations les rend difficilement acceptables. Par ailleurs, ces populations peuvent ne pas avoir la capacité pour faire face à une éruption en raison des contraintes structurelles qu'elles subissent (institutionnelles, politiques,

[196] Des approches basées sur la théorie des graphes permettent la quantification et la cartographie de la perte d'accessibilité liée à des ruptures de réseaux [Leone *et al.* 2011]. Elles sont notamment utilisées en milieu insulaire [Lavigne *et al.* 2012].

culturelles, économiques et territoriales).

Dans un cas comme dans l'autre, nous avons montré qu'une bonne gestion de crise implique de se soucier des conditions d'accès aux ressources des populations. En l'absence de considération de cet impératif, la gestion de crise ne peut pas être efficace.

## 2. PROPOSITION DE SOLUTIONS POUR L'AMELIORATION DE LA GESTION DES CRISES VOLCANIQUES A LA REUNION ET EN GRANDE COMORE

Nous cherchons ici à proposer des solutions d'amélioration de la gestion des crises volcaniques. Ces solutions n'ont pas pour ambition de réduire les causes profondes précitées, sur lesquelles des autorités et/ou ONG pourraient agir, mais d'en tenir compte pour apporter une réflexion sur les moyens qui pourraient être mis en œuvre pour rendre la gestion de crise plus efficiente. La plupart des mesures proposées ci-dessous sont rapidement applicables et relativement peu coûteuses. Certaines sont concrètes, adaptées aux spécificités de chaque territoire, donc non transposables d'une île à l'autre. D'autres relèvent d'une philosophie globale de gestion des crises qu'il conviendrait d'adopter de façon généralisée. Nous en dressons une synthèse non exhaustive en Tableau 32 puis détaillons certaines d'entre elles plus largement.

*Tableau 32 - Grille des outils et mesures souhaitables pour une gestion optimisée des crises (RUN = La Réunion ; GC = Grande Comore)*

| Acteurs | Défaillance | RUN | GC | Proposition d'amélioration |
|---|---|---|---|---|
| Scientifiques | Carences en ressources humaines | X | X | Embauche, système de réservistes IPGP |
| | Formation insuffisante du personnel | X | X | Formation |
| | Réseau de surveillance insuffisant | X | X | Ressources humaines (compétences) |
| | | X | X | Développement du réseau (ressources matérielles) |
| | | | X | Sensibilisation au vol des panneaux |
| | Problèmes de communication | X | | Audit via main courante électronique |
| | | X | X | Formation, séminaires |
| | Manque d'une expertise et d'une cartographie des aléas associés au volcanisme | X | X | Expertise scientifique (gaz, lahars, incidences sanitaires etc.) |
| | | X | X | Scenarii de risque et arbres d'événements |
| Autorités | Manque d'une connaissance basique du risque volcanique | X | X | Formation des opérationnels dès leur arrivée sur le territoire |
| | Manque d'une connaissance basique du système de gestion des crises | | X | Exercices cadre |
| | | X | | Formation à la gestion de crise au sein du Master Télédétection et Risques Naturels |
| | Défauts d'organisation liés à la structure complexe de sécurité civile | | X | Fusion institutionnelle et fonds pérennes |
| | Défaillance ou absence d'alerte aux populations | X | X | Implication de référents locaux (réseaux associatifs, religieux, etc.) |
| | Plans non maitrisés | X | X | Exercices |
| | Prise de décision en dehors des procédures | X | | Formation, exercices de prise en main des plans |
| | Absence d'anticipation des situations de crise | X | X | Scenarii de risque intégrés aux plans |
| | | X | X | Exercices |
| | Mauvaise interprétation des aléas | X | X | Meilleure communication avec les scientifiques |
| | Incapacité à écouter les scientifiques (décisions sans concertation) | X | X | Exercices cadres incluant scientifiques et autorité |
| | | X | X | Arbres d'événements |
| | Communication interne et externe limitée / défaillante | X | X | Formation à la communication de crise |

| Acteurs | Défaillance | RUN | GC | Proposition d'amélioration |
|---|---|---|---|---|
| | Moyens d'évacuation inadaptés | X | X | Simulations, scénarisation des plans |
| | Absence de plans de gestion des risques à l'échelle locale/communautaire | X | | Création et test de PCS [DSC 2008b] |
| | | | X | Création de plans de gestion communautaire des crises |
| | | X | X | Définition par communautés de leurs vulnérabilités et capacités |
| | | X | X | Coopération avec scientifiques pour expertises |
| | Autorités communales ou locales en marge des processus de gestion | X | X | Exercices cadre les incluant |
| | Prise en considération limitée des besoins des populations | X | X | Formation à la gestion de crise |
| | Absence d'information préventive aux populations | | X | Campagne de sensibilisation itinérante |
| | Absence de RETEX | X | X | Systématisation des RETEX |
| | Plans non actualisés | | X | Actualisation |
| | Absence de politique d'aménagement du territoire | | X | Cartographie du risque et réglementation |
| Médias | Manque d'une connaissance basique du risque volcanique | X | X | Information et sensibilisation |
| | Manque d'une connaissance basique du système de gestion des crises | X | X | Implication dans exercices cadre |
| | Recherche de sensationnalisme / déontologie limitée | X | X | Responsabilisation |
| | | X | | Exercices cadre les incluant |
| | Système médiatique accordant du crédit à des experts autoproclamés | X | | Identification d'interlocuteurs officiels |
| | Sollicitation excessive des scientifiques pendant les épisodes éruptifs | X | | Identification d'interlocuteurs officiels |
| Populations | Manque d'une connaissance basique du risque volcanique | | X | Information et prévention, campagne itinérante |
| | Manque d'une connaissance basique des comportements à adopter | X | X | Information préventive et information de crise |
| | Défauts d'assurance face aux risques volcaniques | X | | Campagne de sensibilisation |
| | | X | X | Amélioration des conditions socio-économiques |
| | | | X | Réforme du système assurantiel |
| | Mouvements spontanés de population (exil) | | X | Information préventive |
| | Mouvements spontanés de population (spectacle) | X | X | Information préventive, responsabilisation |
| | | X | | Contingentement des flux |
| | Perception négative de la gestion de crise | X | X | Présence sur le terrain des acteurs |
| | | X | X | Communication autour des RETEX, transparence |

### 2.1. SENSIBILISER ET PREPARER LES POPULATIONS AUX RISQUES

L'efficacité des mesures de prévention face au risque volcanique et le bon déroulement d'une gestion de crise sont en partie fonction de la perception, de la conscience et la connaissance du public en la matière [Dominey-Howes et Minos-Minopoulos 2004]. Les chercheurs ont commencé à insister sur l'importance de l'information reçue (en fréquence, qualité, et pertinence) il y a déjà trois décennies [Greene *et al.* 1981 ; Perry *et al.* 1982 ; Perry et Greene 1983].

Nos deux RETEX ont justement montré que les réponses observées en temps de crise s'expliquent en partie par un manque d'information. En Grande Comore, 88 % des personnes interrogées aimeraient recevoir de l'information préventive [Morin et Lavigne 2009]. A La Réunion, ils sont 87 % à la plébisciter (E-RUN4[197]). Tous affirment que cela leur permettrait de savoir comment mieux réagir face à une éruption

[197] Habitants de Saint-Philippe et Sainte-Rose, communes les plus exposées à l'aléa volcanique.

volcanique.

A La Réunion, un effort a été produit depuis notre enquête de 2008 pour améliorer les supports d'information préventive existants et en créer de nouveaux. L'île en est désormais richement dotée. La PIROI mène depuis 2011 une campagne d'information multirisques intitulée « *Paré pas paré* ». Elle repose sur des spots télévisés, affiches, et incollables pour les enfants. Les comportements à adopter face aux aléas décrits dans le DDRM y sont retracés. Le contenu de l'information spécifique aux éruptions volcaniques a été validé par l'OVPF, l'ONF, la préfecture, et l'Université[198]. Dans le domaine du risque volcanique, la rénovation totale de la Maison du Volcan[199], dotée d'expositions et animations beaucoup plus ludiques, jouera sans aucun doute un rôle positif sur la compréhension de la Fournaise par le public. Le DDRM devrait théoriquement être actualisé en 2013. Par ailleurs, dans le domaine de la prévention des risques, la population réunionnaise dispose depuis 2010 d'un site internet ergonomique et décliné pour les enfants (*http://www.risquesnaturels.re/*). Enfin, comme évoqué précédemment, les randonneurs disposent désormais de panneaux explicatifs actualisés en partie sommitale de l'Enclos.

On relève un élément majeur absent des supports de sensibilisation à l'heure actuelle : la prise en compte des événements éruptifs majeurs de faible récurrence. Il est nécessaire que les politiques et la population prennent conscience de la possibilité de telles éruptions à La Réunion. Cela est d'autant plus vrai que l'éruption de 2007 a été présentée comme l'éruption du siècle, comme si aucun événement plus intense ne pouvait se produire au cours des prochaines décennies. Il convient donc d'intégrer au contenu de la sensibilisation l'idée de scenarii plus défavorables.

Nous n'apportons pas d'autre proposition concrète de sensibilisation, préférant nous concentrer sur la Grande Comore, où ces supports font défaut, et où l'OVK, le LGSR et l'association VEA[200] réfléchissent à la mise en place d'un centre de sensibilisation à Moroni. Nos travaux pourront ainsi avoir une utilité immédiate.

### 2.1.1. Les impératifs de la sensibilisation

#### ❖ *Produire un contenu adapté aux représentations*

Il est essentiel d'adapter les campagnes d'information des populations à la perception qu'elles se font du risque [Gaillard et Dibben 2008]. Sans cette adaptation, une campagne de sensibilisation peut être inefficace, voire néfaste. L'exemple le plus contre-productif de campagne de sensibilisation dont nous ayons connaissance est celui d'une information diffusée auprès des enfants des Balkans pour les avertir des dangers des mines antipersonnel. Le support était une affiche présentant Superman se portant au secours d'enfants approchant d'une mine. Le résultat de la campagne a été exactement l'inverse de ce qui était espéré : le nombre d'accidents a augmenté, les enfants jouant volontairement avec les mines dans l'espoir que Superman vienne les sauver [Szepielak 2010]. Si cet exemple est extrême, il montre bien la nécessité d'une adéquation entre les messages délivrés et les représentations du public ciblé.

A l'inverse, un contenu adapté doit se fonder sur les références culturelles du territoire cible. Les conséquences du tsunami du 26 décembre 2004 ont, par exemple, amené le gouvernement indonésien à envisager l'intégration du mot « smong » dans la langue nationale pour poser les bases d'une

[198] Faute de temps, toutefois, seule une première série de remarques a été intégrée. Nous avons dans un second temps formulé des suggestions de modification du support, pour apporter des compléments de fond et rendre le message plus clair. Elles sont restées sans suite. Cela rappelle la complexité de combiner idéalement les exigences scientifiques avec les délais réduits des acteurs.

[199] Musée réunionnais consacré à la Fournaise.

[200] Association Loi 1901 « Volca- Explor-Action ».

connaissance nationale sur les tsunamis. Ce mot était en effet utilisé par les habitants de Simeulue pour désigner l'aléa tsunami. Or, contrairement aux habitants d'Aceh, ceux de Simeulue se sont immédiatement enfuis vers les montagnes en voyant la mer se retirer. Seulement 44 personnes y ont trouvé la mort [Gaillard *et al.* 2008a] contre 165 700 à Aceh [Rofi *et al.* 2006]. La mémoire du tsunami mortel de 1907, transmise de génération en génération à Simeulue leur a permis de comprendre ce qui était en train de se passer et d'agir en conséquence [Gaillard *et al.* 2011]. Le mot « *smong* » constitue un acronyme utile : SeMua Orang Naik Gunung (« *tout le monde grimpe sur la montagne* ») [Morin *et al.* 2008 ; Morin *et al.* 2011]. C'est ce type d'intégration que les campagnes de sensibilisation doivent rechercher pour parler au public.

❖ ***Adapter le contenu à la localité ciblée***

Un contenu commun aux communautés de Grande Comore peut être défini pour leur apporter des connaissances basiques sur le risque volcanique et les comportements généraux à adopter en cas d'éruption. Il doit toutefois être décliné en prenant en compte les caractéristiques propres à chaque communauté. Une cartographie des écarts de perception à la réalité du risque, telle que celle présentée en Annexe 22, pourrait par exemple permettre d'adapter les messages relatifs à une meilleure connaissance du zonage de l'aléa et du risque.

❖ ***Adapter le public et la localité cibles au message***

Pour des raisons évidentes de rentabilité, la transmission d'un message spécifique doit être faite au bon destinataire. Les cas de vol ou de détérioration du réseau de surveillance de l'OVK ont ainsi encouragé l'OVK et le COSEP à entreprendre, depuis octobre 2012, des tournées dans les villages pour sensibiliser les jeunes gens et les grands notables à ces problèmes[201]. Dans ce cas précis, les destinataires sont respectivement les auteurs présumés des délits et les garants théoriques de l'ordre au sein des communautés. Les autorités, supposant que les vols sont commis depuis les villages qui donnent directement accès au sommet, n'ont par ailleurs ciblé que ces zones (Mvouni, Nioumbadjou, Dzahani, Nkourani, Pidjani, Idjikoundzi). La démarche a été bien accueillie dans les communautés. Ces deux types de ciblage ne constituent malheureusement pas pour autant un gage de succès de la démarche.

### 2.1.2. Propositions concrètes pour la sensibilisation des Grands Comoriens

Les résultats de l'enquête (E-GC2) ont permis d'émettre des préconisations portant sur (1) le public à cibler prioritairement dans le cadre d'actions de sensibilisation, (2) les vecteurs les plus plébiscités (donc les plus appropriés), et (3) l'information à délivrer.

❖ ***Choix du public à cibler***

Afin de toucher tous les genres, classes d'âge et catégories sociales, les campagnes de sensibilisation doivent être menées directement dans les communautés. Des compléments de sensibilisation adressés spécifiquement aux scolaires et à la diaspora seraient également souhaitables.

Il est nécessaire de pérenniser une telle action en l'intégrant aux programmes scolaires officiels. Dans nos préconisations transmises aux partenaires en 2007, nous avons largement insisté sur la nécessité de former les enseignants. Les résultats de nos enquêtes ont en effet montré leur manque de connaissances.

[201] Il s'est avéré que certains notables ne savaient pas que le volcan était instrumenté.

Depuis, les autorités comoriennes ont produit un « guide pédagogique du maître pour l'éducation et la gestion des catastrophes naturelles » [2008], actualisé en [2011]. Plutôt bien conçu, celui-ci laisse espérer des progrès en la matière.

Enfin, une caractéristique forte de la société comorienne est l'importance de sa communauté expatriée. Chouaybou [2010] indique que lors d'événements majeurs (par exemple lors des réveils du Karthala), ces comoriens de l'étranger prennent d'assaut les lignes téléphoniques pour s'enquérir de la situation de leurs proches. Un message spécifique de sensibilisation doit leur être délivré afin d'éviter la saturation des réseaux en situation de crise. Cela implique qu'elles puissent trouver une information actualisée et claire en contrepartie pour patienter. Des responsables d'associations de Diaspora pourraient constituer les piliers d'un réseau qui limiteraient les appels vers les Comores. En parallèle, les projets de sensibilisation doivent également leur être destinés.

#### ❖ *Choix et création des supports de sensibilisation*

- **Supports à privilégier**

La vidéo remporte le plus de suffrages, suivie des conférences et des supports imprimés (E-GC2). Le meilleur vecteur de sensibilisation serait probablement un film court (13 minutes pour les plus petits, 26 pour les plus grands) nourri avec de l'infographie (les dessins des ouvrages scolaires sont bien mémorisés et restitués, tandis que tout ce qui est textuel est la plupart du temps déformé ou oublié). Ces films pourraient être diffusés en partenariat avec la Télévision Comorienne et/ou l'Education Nationale. Des documents imprimés résumant les grandes idées du film pourraient être distribués après leur projection. Ils rappelleraient les éléments les plus importants et assureraient une sensibilisation à plus long terme. Le taux d'illettrisme est étendu (43.5% des adultes de plus de 15 ans), ce qui pose un sérieux problème pour ce qui concerne la communication autour des risques et des crises. La vidéo représente donc un vecteur plus égalitaire.

Les expositions représentent le vecteur d'information jugé le moins attractif, elles sont donc à éviter, à moins d'être systématiquement accompagnées de la présence d'une personne pour en faire la présentation. Le projet en cours de centre de sensibilisation à Moroni est actuellement en discussion entre l'OVK, le LGSR, et l'association VEA. Ce centre doit impérativement être itinérant, au moins une partie de l'année. En effet, les conditions de vie quotidiennes des Comoriens ne leur laissent, pour la grande majorité, pas la possibilité dépenser du temps et de l'argent en déplacements pour ce type d'activité. Cela implique que l'outil de sensibilisation vienne jusqu'à eux[202].

Dans le cadre du programme de « sensibilisation aux risques liés au volcan Karthala », la sensibilisation opérée a pris d'autres formes : boîte à images et troupe de théâtre itinérante. Il conviendrait de maintenir ces supports, en réutilisant notamment la boîte à images (Figure 104).

Elle est composée de 20 peintures décrivant les comportements à adopter et à éviter dans un certain nombre de circonstances (Annexe 23). Les volontaires CRCo qui commentent les images bénéficient d'un texte de support auquel les sensibilisés n'ont pas accès. Si la création du centre de sensibilisation en projet prenait forme, les consignes devraient accompagner les images et être traduites en plusieurs langues : arabe, shikomori, français, voire anglais pour donner une dimension internationale au centre. Les comportements à adopter pourraient être écrits en vert, ceux à éviter en rouge.

[202] On notera que cette réflexion s'applique à bon nombre d'habitants du « Sud sauvage » de La Réunion.

*Figure 104 - Comportements (A) à éviter et (B) à adopter en cas de retombées de cendres (artiste : Ben A ; extrait de la campagne de sensibilisation aux risques volcaniques en Grande Comore)*

Enfin, l'ensemble des supports de sensibilisation devrait être reproduit et disponible sur un site internet, afin de bénéficier d'une plus grande visibilité, et permettre un retour à l'information pour les personnes déjà sensibilisées.

- **Modalités de conception**

L'implication d'un artiste local pour s'assurer d'une adéquation culturelle totale des supports produits est indispensable. Certains artistes locaux appréciés du public, et parfois déjà impliqués dans des projets de réduction des risques, tel Mab Elhad, pourraient être sollicités. Ils doivent pouvoir toucher l'ensemble des classes sociales (un artiste comme Soeuf Elbadawi par exemple, est reconnu mais fâche les notables à travers ses discours dénonçant l'archaïsme de la société traditionnelle comorienne). Les films du cinéaste comorien Damed Soilihi sur les dernières éruptions du Karthala pourraient alimenter les supports de sensibilisation.

Un test doit évidemment être entrepris à partir des maquettes pour valider la compréhension des messages au sein de la population.

#### ❖ *Contenu des outils de sensibilisation*

- **Messages de base concernant les risques volcaniques**

Les résultats de nos enquêtes ont permis de dresser une synthèse des principaux messages à adresser aux populations pour faire évoluer leurs représentations et capacités de réaction en temps de crise (Tableau 33).

*Tableau 33 - Principaux messages à délivrer pour la sensibilisation au risque volcanique en Grande Comore*

| | Messages à délivrer |
|---|---|
| **Quel que soit le contexte** | Les campagnes d'information doivent insister sur la fréquence d'occurrence : on ne sait pas quand le volcan se réveillera (dans 6 mois, 1 an, 5, 10 ou 20 ans), mais on est certain qu'il se réveillera un jour. On peut être mieux préparé à ce réveil avec seulement quelques gestes simples. Après les quatre éruptions d'avril 2005, novembre 2005, mai 2006 et janvier 2007, 89% des comoriens enquêtés pensaient que le volcan entrerait en éruption tous les 6 mois. Or, le Karthala n'est pas entré en éruption depuis 2007. Les grands comoriens ne doivent pas pour autant oublier qu'ils vivent aux pieds d'un un volcan actif. |
| | Le Karthala représente un risque très limité pour les vies humaines si les gens adoptent les bons comportements (38% des enquêtés ont peur du Karthala car il leur évoque la mort !). Il est important de le souligner pour éviter les réactions excessives observées lors des dernières éruptions. |
| | Le Karthala a un fonctionnement autonome : ses réveils ne sont pas liés à l'occurrence d'autres aléas ailleurs dans le monde. Ils n'ont notamment pas de lien avec les volcans de La Réunion ou d'Indonésie, ni avec le réchauffement climatique. |
| | Un séisme ressenti sur l'île ne signifie pas forcément que le volcan va entrer en éruption. |
| | Les volcanologues ne peuvent pas prédire exactement quand et où le volcan entrera en éruption, ni comment l'activité évoluera ; ni les autorités ni les scientifiques ne sont en mesure d'empêcher l'activité volcanique. |
| | Le matériel de surveillance de l'observatoire est régulièrement dégradé. Sans lui, il est impossible de surveiller le volcan et d'anticiper les mesures à prendre pour protéger les populations. Or, des éruptions peuvent se produire à proximité des villages. Cette consigne doit être accompagnée d'une carte de l'aléa sur laquelle le bâti et les routes seraient représentés. |
| **En cas d'éruption** | Ne pas évacuer (ni à pieds ni en voiture), sans en avoir reçu l'ordre par les autorités afin de ne pas encombrer les réseaux routiers et ne pas compliquer d'éventuelles opérations de secours. |
| | Ne pas se rendre au CNDRS ou à la gendarmerie (COSEP) pour ne pas surcharger leur personnel. Pendant une éruption, ils ont énormément de travail à gérer, ils n'ont pas le temps d'informer les gens au coup par coup. |
| | Ecouter la radio nationale. |
| | Ne pas téléphoner : l'encombrement des réseaux téléphoniques peut compliquer les opérations de secours. |
| | Evacuer en suivant les instructions des autorités si celles-ci en donnent l'ordre (19% déclarent qu'ils n'évacueraient qu'à condition d'avoir une preuve visuelle directe de l'aléa, 7,6% qu'ils refuseraient d'évacuer car le volcan ne présente pas un danger mortel). |
| | En cas de retombées de cendres, se protéger la bouche avec un linge mouillé. Protéger également la nourriture et l'eau. |

- **Adaptations communautaires**

Ces préconisations doivent être adaptées aux caractéristiques de chaque communauté pour être entendues des populations et applicables. Par exemple, il serait absurde de demander aux habitants d'un village d'écouter la radio nationale s'ils n'en ont pas la possibilité. Les messages doivent donc être circonstanciés et commentés, et venir alimenter la réflexion engagée autour des capacités locales.

### 2.1.3. Encourager l'autodiagnostic des capacités de gestion par les communautés

Un autodiagnostic s'impose donc comme un préalable indispensable à toute campagne de sensibilisation. L'identification par les communautés villageoises elles-mêmes de leurs vulnérabilités et capacités de réponse permet en effet une approche multirisque ancrée dans les réalités locales et quotidiennes, meilleur gage d'une réduction efficace des risques. Elle permet d'envisager une sécurisation des ressources face aux aléas naturels et des modalités adaptées de gestion communautaire des situations de crise. La cartographie participative, réalisée en groupes de discussion (FGD), est une solution permettant de mettre à contribution les communautés par un autodiagnostic de leurs vulnérabilités et capacités. Cette cartographie peut être réalisée en trois dimensions pour permettre une meilleure interprétation et assimilation des informations géolocalisées, en les rendant plus visibles et tangibles pour tous [Gaillard et

Maceda 2009 ; Maceda et al. 2009]. Cette méthode demande toutefois des moyens, et la cartographie participative traditionnelle donne de bons résultats (Figure 29, p.109).

Ce type de démarche doit être entrepris avant toute sensibilisation, pour que les messages délivrés soient cohérents avec les moyens dont disposent les populations pour faire face aux aléas. Il s'agit, en d'autres termes, de prendre en compte les « causes profondes » des forces et dysfonctionnements. Cela permettrait par ailleurs de développer une approche multirisque insistant localement sur les aléas définis comme les plus préoccupants par chaque communauté. Ce travail peut par ailleurs permettre de concevoir des exercices de gestion, de rassemblement, ou d'évacuation au sein des communautés. Les villages de Nkourani et de Ntsinimoichongo, après avoir bénéficié du projet CRF-CRCo, ont ainsi programmé une évacuation en 2009 [Chouaybou 2010].

Une campagne d'enquête basée sur notre questionnaire (E-GC2) est actuellement réalisée par H. Soule (doctorant à l'université de La Réunion et directeur de l'OVK). Elle devrait permettre de mettre en évidence l'évolution - ou non - des représentations du risque, et en particulier des risques volcaniques. Ses résultats permettront donc sans doute d'affiner le contenu de sensibilisation proposé dans ce manuscrit.

## 2.2. FACILITER LA COMMUNICATION ET LES RETEX

### 2.2.1. Mise en place de la main courante électronique « OVREX »

Lors de l'éruption d'avril 2007 à La Réunion, la communication interne à l'OVPF et la communication OVPF-IPGP ont été marquées par des problèmes de remontée de l'information[203]. Par ailleurs, l'OVPF, pourtant acteur central de la gestion des crises volcaniques à La Réunion, n'est pas intégré au système SYNERGI, qui permet un suivi des événements et des prises de décision en temps de crise. Nous proposons donc la conception d'une main courante alternative, dédiée à l'observatoire volcanologique. Son objectif serait d'améliorer la rapidité de diffusion et la cohérence de l'information, en permettant à chacun des membres de l'OVPF[204] de disposer de la même information au même moment. Elle permettrait dans le même temps de constituer une base de données « opérationnelles » (au même titre que sont stockées les données volcanologiques) afin de permettre la réalisation régulière de RETEX.

Cette main courante (ici baptisée OVREX, pour Retour d'Expérience au sein des Observatoires Volcanologiques) serait constituée d'une interface logicielle de saisie (client, Figure 105) accessible depuis une application PC et mobile (Android et iPhone), et d'une base de donnée distante (SGBD sur serveur) hébergée par exemple à l'OVPF ou à l'IPGP à Paris. La liaison clients/serveur se ferait de manière sécurisée (SSL) (Figure 106). Chaque utilisateur pourrait ainsi déclarer des événements et des incidents en renseignant des champs décrivant les actions effectuées ou à effectuer, les moyens disponibles ou non, la qualité des interactions avec les autres acteurs, etc. Par ailleurs, chaque utilisateur pourrait spatialiser très facilement l'information dans une fenêtre cartographique dédiée. Dans l'idéal, même en l'absence d'incident remarquable, chaque scientifique remplirait une synthèse en fin d'événement pour déterminer la qualité de la gestion et plus particulièrement de la communication interne et externe. Il serait alors possible de consulter les fiches et de réaliser des statistiques via une interface de consultation sous forme de tables, de fiches et de cartes.

[203] Problème largement amélioré par l'arrivée d'un nouveau directeur à la tête de l'OVPF.

[204] Equipe OVPF au sens large, étendue aux membres du LGSR qui travaillent avec l'OVPF (ou en parallèle) pendant les crises.

*Figure 105 - Proposition d'interface de saisie pour une application « main courante électronique »*

*Figure 106 - Architecture d'OVREX*

L'actuel directeur de l'OVPF est favorable au développement d'un tel outil, et à son test en situation de crise ou d'exercice. L'OVPF est d'ailleurs idéal pour ce test, les crises éruptives à la Fournaise étant plus nombreuses que sur les autres édifices surveillés par l'IPGP (Soufrière, Montagne Pelée, Montserrat, Karthala). La main courante pourrait être améliorée en prenant en compte les critiques des scientifiques qui l'ont utilisée[205], puis éventuellement généralisée aux autres volcans cités. On peut également imaginer de l'étendre à la Task Force de gestion des crises volcaniques de l'IPGP[206]. Afin que son développement ne soit pas bloqué pour des raisons politiques (des données « sensibles » étant susceptibles d'y être intégrées), on peut imaginer la signature d'une charte de non divulgation par ses utilisateurs. Elle serait de toute façon sécurisée avec des niveaux utilisateurs variables.

Un cahier des charges a été rédigé afin de synthétiser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à l'élaboration de l'outil (Annexe 24). Le coût estimé pour le déploiement de cet outil a été estimé à environ 2000 € par un ingénieur informaticien. Ce coût inclut le développement de l'interface web pour postes fixes et mobiles, l'installation côté serveur du Système de Gestion de Base de donnée (SGBD), la liaison sécurisée entre clients et serveurs, la rédaction d'un manuel utilisateur et administrateur.

### 2.2.2. Complément de RETEX par les habitués du volcan

Un certain nombre d'observateurs, que nous avons qualifiés dans cette thèse de « passionnés du volcan », sont quasi systématiquement sur site lors des éruptions. Ils ont pour certains développé un regard « affûté » sur le volcan, connaissent le fonctionnement théorique de la gestion des crises, et lorsqu'ils sont sur site observent certains détails auxquels n'ont pas forcément accès les scientifiques. Tout comme nous avons mis en place des fiches d'observation destinées à un réseau d'observateurs dans les ports suite à un RETEX sur le tsunami du 26 octobre 2010 à La Réunion [Sahal et Morin 2012], nous proposons ici de mettre en place des fiches d'observation sur la gestion des crises pour ce réseau d'habitués du volcan. Ils pourraient, sous réserve d'acceptation et de validation par l'OVPF, avoir accès à la main courante OVREX avec un simple statut d'observateur (pas de consultation possible de la base de données). Les RETEX seraient ainsi indéniablement enrichis, intégrant partiellement une philosophie « bottom-up ». Reste que des enquêtes ponctuelles seraient également nécessaires pour recueillir l'avis des populations et autres gestionnaires si l'on veut étendre ces RETEX internes à des RETEX complets sur les crises éruptives.

[205] Une grille de critique serait livrée avec l'outil (intérêt, ergonomie, lacunes, etc.).

[206] Dans un monde utopique de géographe s'intéressant à la gestion des crises volcaniques, on pourrait rêver d'une main courante adaptée et étendue à l'ensemble des observatoires volcanologiques mondiaux pour créer une base de données de premier ordre. Elle permettrait de souligner les facteurs de dysfonctionnement récurrents, d'en rechercher les causes et les solutions, et de développer ainsi une meilleure gouvernance des crises à l'échelle internationale.

### 2.2.3. Pour la diffusion des alertes, s'appuyer sur les réseaux existants

A La Réunion, Sahal et Morin [2012] ont montré l'importance des réseaux d'usagers de la mer dans la transmission des alertes en cas de tsunami, notamment en cas de défaillance du système d'alerte précoce. Ces réseaux sont pérennes et actifs toute l'année, ils constituent donc une base sociale idéale sur laquelle les autorités pourraient s'appuyer aussi bien pour la transmission de l'alerte que pour la réalisation de RETEX. Concernant le risque volcanique, nous avons mis en évidence, que, dans certaines circonstances, il pourrait être fait appel aux « passionnés » du volcan, qui constituent eux-aussi un réseau pérenne et actif. En Grande Comore, il paraît indispensable d'intégrer pleinement les imams[207] dans la chaîne de diffusion des alertes : 57% des villageois leur font confiance, contre seulement 30% aux autorités et 10% au chef de village [Chouaybou 2010].

### 2.2.4. Former les journalistes à la communication de crise

Nos RETEX ont pointé des défaillances journalistiques qui nuisent à la bonne gestion des crises : manque de connaissance basique du risque volcanique en Grande Comore, aide à la dissémination - voire à la production - de rumeurs, sollicitation excessive des membres des observatoires volcanologiques, etc. Les journalistes, au même titre que tout citoyen, doivent bénéficier d'une information préventive consistante. Pour permettre une bonne diffusion des consignes de sécurité en temps de crise, et empêcher ou enrayer la diffusion de rumeurs, les journalistes gagneraient à prendre connaissance des recommandations et protocoles de communication du DFID [2003].

En Grande Comore, une formation sommaire à la communication scientifique a été apportée à 20 journalistes dans le cadre de la campagne de sensibilisation aux risques liés au volcan Karthala. Le guide conçu à cette occasion[208] devrait être mis à disposition de l'ensemble des journalistes de l'île.

## 2.3. CONSCIENTISER ET FORMER LES DECIDEURS

Pour être pleinement prêts à prévenir les crises ou à les gérer de façon optimale, les gestionnaires doivent bénéficier d'information et de formations. Nous leurs proposons ici quelques « solutions » clef.

### 2.3.1. Bénéficier des mêmes mesures de sensibilisation que les populations

L'utilité de cette proposition a été démontrée au cours de nos RETEX : trop peu de gestionnaires sont en mesure d'interpréter correctement les aléas volcaniques, de communiquer clairement sur les événements en cours, etc. du fait d'un manque de connaissances. Il est donc indispensable qu'ils bénéficient de la même sensibilisation « de base » que les populations locales.

### 2.3.2. Bénéficier de formations dédiées

Une sensibilisation plus poussée à la question des risques rencontrés à La Réunion, naturels ou non, pourrait être organisée selon une fréquence à définir (annuelle, biannuelle), suffisamment basse pour contourner le « problème » des novices arrivant régulièrement dans le cadre de programmes de mutations régulière. Les universitaires, conjointement avec les équipes d'autres organismes (OVPF, Météo-France, BRGM, etc.), pourraient dispenser de telles formations.

---

[207] Le Mouftorat fait partie des acteurs impliqués dans le PNPRU averti en cas d'éruption volcanique. Toutefois, le lien ne semble pas toujours fait entre les muftis et les cadis puisque la transmission des alertes se fait principalement de bouche à oreille et non via les mosquées.

[208] *« Guide du journaliste, rôles des medias et vulgarisation des informations scientifiques en cas de catastrophes »*.

Les gestionnaires doivent en outre recevoir une formation spécifique à la communication et à la gestion de crise pour être en mesure de gérer au mieux les événements. Les exercices constituent un outil idéal pour parvenir à cet objectif.

### 2.3.3. Apprendre et s'entraîner grâce aux exercices

#### ❖ *L'utilité des exercices*

La mise en place d'exercices est susceptible de résoudre plusieurs des défaillances observées lors des RETEX sur la Fournaise et le Karthala : amélioration des rapports et de la communication entre acteurs ; familiarisation avec la planification, les outils de gestion et le risque volcanique ; anticipation des procédures à mettre en place face à des événements qui ne sont pas décrits dans la planification ou qui dépassent l'ampleur envisagée ; apprentissage du travail en situation dégradée, etc. Un ouvrage collectif est dédié au sujet [Gaultier-Gaillard *et al.* 2012], et des guides bien conçus permettent de concevoir la mise en place des exercices [DSC 2008a, 2011], y compris à l'échelle communale pour tester les PCS [DSC 2008b] et les PPI dans les industries [DSC 2009].

Selon Portal [2009], l'exercice constitue un excellent moyen pour faire prendre conscience aux acteurs du poids des représentations qu'ils se font de l'événement lui-même, l'objet d'une simulation réussie étant d'harmoniser ces représentations pour fédérer les acteurs de la gestion de crise. Ils rendent en outre possible une reconnaissance des erreurs commises moins frileuse que lors d'événements réels, puisqu'ils constituent un jeu fait pour se tromper. Enfin, ils permettent d'envisager la survenue d'événements rares mais plausibles, auxquels les acteurs peuvent être confrontés mais pour lesquels ils ne seront pas entraînés à moins d'avoir participé à des exercices. Leur importance est telle qu'ils sont désormais au programme de presque tous les Masters et Mastères formant à la gestion des risques et des crises. En fonction de l'expérience des participants, ils se présentent comme un vecteur de sensibilisation, de pédagogie, de validation ou d'entretien des compétences. Ils peuvent prendre la forme d'exercices terrain ou cadre. Dans ce dernier cas, leur coût de réalisation peut-être extrêmement réduit.

En France, la loi de modernisation de la sécurité civile de 2004 prévoit théoriquement un exercice de grande ampleur par an à l'échelle départementale. On citera dans le domaine des risques sismiques les exercices RICHTER Antilles en 2008 et RICHTER 65 à Grenoble en 2011 avec 53 communes impliquées. En 2010, en moyenne trois exercices étaient réalisés annuellement par préfecture (A. Chevallier, com. pers.). Aux Comores, la réalisation d'exercices n'est pas encadrée légalement, et nous n'avons connaissance d'aucun exercice organisé par les autorités pour se préparer aux crises.

Dans le domaine des crises volcaniques, MESIMEX est un bon exemple d'exercice de grande ampleur associant plusieurs pays. Mené à Naples en octobre 2006, il a été fondé sur les résultats du programme de recherche EXPLORIS pour aider la protection civile italienne dans l'exercice d'évacuation des zones rouge et jaune [Baxter *et al.* 2008a ; Baxter *et al.* 2008b]. Pour rappel (cf. Chapitre I, 2.3.1, p.34), un contexte météorologique inattendu a entraîné une coupure majeure des voies d'évacuation. Cela a permis de rappeler aux gestionnaires que des effets domino peuvent intervenir inopinément en situation réelle.

En fonction de ses objectifs, un exercice peut être programmé à une date à la signification particulière. En novembre 2006, les autorités nippones ont par exemple effectué un exercice d'évacuation de l'île d'Izu Oshima impliquant près de 5000 des 6300 habitants. Il est intervenu le jour du vingtième anniversaire d'un ordre d'évacuation total de l'île suite à l'éruption du volcan éponyme [Sasai 2010]. On peut suggérer la date anniversaire de l'éruption de Singani en Grande Comore le 5 avril, les enquêtes ayant montré que c'est

l'événement qui a le plus marqué la mémoire collective sur l'île. A La Réunion, le 2 avril, jour où a débuté l'éruption majeure de 2007, pourrait être une option.

### ❖ *Choix d'exercices : gérer les événements communs et envisager le pire*

Nous proposons, en nous appuyant sur les résultats de nos RETEX, une liste non exhaustive d'exercices qu'il conviendrait de réaliser pour améliorer les capacités de gestion de crise sur nos terrains d'étude (Tableau 34). Ce sont essentiellement des exercices cadre, plus appropriés pour les risques naturels [DSC 2011], et qui demandent des moyens réduits. En raison des dysfonctionnements observés en avril 2007, nous proposons de tester la communication entre cellules de crise à La Réunion. La main courante OVREX pourrait éventuellement être testée à travers un exercice, de façon à ce que les membres de l'OVPF puissent déterminer s'ils souhaitent l'adopter ou non. L'exercice pourrait être organisé dans le cadre d'une véritable éruption, à condition que celle-ci ne sollicite pas démesurément les scientifiques.

*Hypothèse d'une éruption hors-Enclos en zone densément urbanisée*

D'août à novembre 2007, une phase de sismicité profonde (20 ± 10 km sous le niveau de la mer) est enregistrée à l'aplomb du secteur du Tampon - Entre Deux. Cette micro-sismicité accompagne un séisme de magnitude 3.6 ressenti par la population sur l'ensemble de l'île. D'autres essaims sismiques de ce type, détectés en 1996 et 1997 dans le secteur ouest du massif de la Fournaise, ont précédé de 14 mois la réactivation du volcan inactif depuis 1992 [Di Muro *et al.* 2012]. La possibilité d'éruptions hors-Enclos en dehors des communes de Sainte-Rose et Saint-Philippe n'est pas évoquée dans le PSS Volcan, et jugée peu crédible par les élus et populations avec qui nous avons abordé le sujet en discussion informelle. Il s'agit pourtant d'un scenario plausible. Nous proposons, dans un premier temps, de monter un exercice « Sismicité sous le Tampon », dont le synopsis prendrait en compte ce type d'essaim sismique, suivi d'une migration progressive des séismes vers la surface. Il permettrait aux scientifiques de l'OVPF de savoir à partir de quand ils estiment qu'il y a lieu de s'inquiéter que la sismicité débouche sur une éruption, et de tester la communication avec les autorités sur ce thème. Ils pourraient s'interroger conjointement sur le seuil de déclenchement d'une alerte impliquant l'évacuation potentielle d'une zone fortement urbanisée, et pour les autorités sur la décision d'évacuer ou non. Cette réflexion pourrait être accompagnée de la création d'arbres d'événements par les scientifiques pour faciliter la communication avec les autorités et les prises de décision.

Une fois les résultats du programme « Aléas » connus, des cartes d'aléa et de vulnérabilité à échelle fine seront disponibles pour certains secteurs du massif. Nous proposons qu'ils déterminent le choix de la localité : Le Tampon pourrait être remplacé par la Plaine des Cadres ou Saint-Benoît. Une fois l'exercice cadre réalisé, un exercice terrain impliquant la population pourrait être envisagé. A La Réunion, 78% des répondants à une enquête OVPF (n=937) reconnaissent en effet l'utilité d'exercices de simulation préparatoires à une future crise éruptive. Or, ils sont 69% à ne pas se sentir suffisamment prêts pour faire face à une éruption (n=1174) [Di Muro *et al.* 2012].

*Tableau 34 - Principaux exercices à envisager pour une amélioration des capacités de gestion de crise à La Réunion et en Grande Comore*

| Ile | Description de l'exercice | Objectifs | Acteurs impliqués | Cadre / Terrain |
|---|---|---|---|---|
| La Réunion | Test d'OVREX | ✓ Tester la main courante pour la valider, l'invalider, la faire évoluer | OVPF, LGSR, (habitués du volcan ?) | Terrain |
| | Afflux massif de spectateurs à la Fournaise | ✓ Tester la communication COD-PCO-PCC<br>✓ Tester SYNERGI<br>✓ Permettre aux gestionnaires de se familiariser avec le PSS Volcan | Acteurs du PSS Volcan | Cadre |
| | Sismicité sous le Tampon | ✓ Permettre aux scientifiques de réfléchir aux critères de déclenchement d'une alerte<br>✓ Conscientiser les autorités à la possibilité d'éruptions majeures sur le massif de la Fournaise<br>✓ Tester la communication OVPF-EMZPCOI<br>✓ Subsidiairement, anticiper le déploiement en urgence de matériel de surveillance scientifique<br>✓ Faire réfléchir les scientifiques à l'élaboration d'un arbre d'événements à La Fournaise | OVPF et EMZPCOI | Cadre |
| | Eruption au Tampon<br>*(attente des résultats du projet aléas)* | ✓ Conscientiser les gestionnaires à la possibilité d'éruptions majeures sur le massif de la Fournaise<br>✓ Tester le PSS Volcan<br>✓ Anticiper les effets domino<br>✓ Réfléchir à la continuité d'activité<br>✓ Optimiser la répartition des ressources de gestion de crise | Acteurs du PSS Volcan | Phase 1 - Cadre |
| | | ✓ Conscientiser et impliquer les populations<br>✓ Tester les moyens opérationnels et la possibilité d'une évacuation | Acteurs du PSS Volcan + population | Phase 2 - Terrain |
| Grande Comore | Coulée en zone rurale en Grande Comore | ✓ Se familiariser avec les exercices de gestion de crise dans l'optique de l'exercice « coulée sur Moroni »<br>✓ Tester le PNPRU<br>✓ Anticiper les effets domino | Intégralité des acteurs du PNPRU | Cadre |
| | Coulée sur Moroni | ✓ Tester le PNPRU<br>✓ Anticiper les effets domino<br>✓ Réfléchir à la continuité d'activité<br>✓ Optimiser la répartition des ressources de gestion de crise | CNDRS, COSEP | Phase 1 - Cadre |
| | | ✓ Conscientiser les gestionnaires qui ne le seraient pas encore à la possibilité de ce type d'événement<br>✓ Les autres objectifs sont similaires à ceux de la phase 1, mais regroupent l'ensemble des acteurs du PNPRU | Intégralité des acteurs du PNPRU | Phase 2 - Cadre |

*Hypothèse d'une coulée de lave sur Moroni*

En Grande Comore, il paraît essentiel d'envisager la possibilité d'une coulée sur Moroni[209], pire scenario envisageable en termes de risque volcanique dans le pays, dont la probabilité d'occurrence est évaluée à 50% dans le PNPRU. Ce scenario est probable mais on peut avancer que le pays n'est pas prêt à faire face à un événement de ce type. Il affecterait directement 50 000 personnes, et indirectement, pour accueillir les déplacés, 25 000 personnes supplémentaires, dont les capacités de subsistance, déjà faibles, seraient fragilisées. Parmi les problèmes essentiels qui se poseraient figurent la gestion de déplacements massifs de population devraient être gérés, la prise en charge des morts et des blessés, la destruction des réserves alimentaires et d'infrastructures publiques (port, hôpital, écoles, ministères, banque, COSEP, réserve d'hydrocarbures, réseau électrique, ambassades, grande mosquée de Badjanani, etc.). Le PNPRU évoque un chaos socio-économique prévisible. Il est donc important que les autorités réfléchissent aux implications de ce scenario, et développe des capacités de gestion de crise permettant de minimiser les répercussions d'un tel événement. Point positif, les entretiens menés aux Comores nous ont permis de constater que les institutionnels ont conscience de la possibilité d'un tel événement. Toutefois, la mise en place des exercices portant mieux ses fruits si elle est graduelle [DSC 2011], il convient de réaliser en premier lieu un exercice basé sur un scénario moins catastrophe. C'est pourquoi nous proposons qu'un exercice « coulée en zone rurale » soit réalisé en premier lieu. Pour un scenario « coulée sur Moroni », nous proposons ensuite un exercice en deux phases. Une troisième phase pourrait même être envisagée pour impliquer plus progressivement les acteurs du PNPRU. La réalisation d'un exercice terrain nous semble pour l'instant impossible. Il entraînerait à coup sûr des rumeurs sans une solide communication encadrant l'événement (cf. 1.2.2 page 294). Il mobiliserait par ailleurs un budget conséquent, qui serait plus profitable à un projet de développement étant donnée la situation socio-économique critique du pays.

### 2.3.4. Aide au calibrage de la fréquentation maximum acceptable à la Fournaise

L'évaluation des temps d'évacuation pourrait, au besoin, être affinée en prenant en compte l'ensemble des obstacles observés sur le terrain mais non retenus pour les présentes simulations (Annexe 14). Un couplage des résultats avec ceux de simulations d'écoulement réalisables par les volcanologues permettrait de fournir aux autorités une cartographie complète des temps d'évacuation maximum envisageables sous forme d'abaques intégrables au PSS. On pourrait ainsi envisager de produire plusieurs simulations avec des nombres d'agents variables pour fixer des seuils de « fréquentabilité » sans risque des sites éruptifs. A terme, il serait même souhaitable de réaliser des modélisations intégrant la double dimension piétonne et véhiculée, afin de produire des scenarii permettant de savoir jusqu'où les stationnements sont envisageables.

Ces résultats pourraient en outre se révéler de bons outils de communication car ils sont visuels (restitution 3D possible), facilement compréhensibles par tous. Ils permettraient de donner une caution scientifique (gage de meilleure acceptabilité par les populations) aux mesures adoptées lorsqu'elles sont restrictives.

[209] Moroni, littéralement ville « *au cœur du feu* ».

## 2.4. QUELQUES RECOMMENDATIONS POUR UNE BONNE GOUVERNANCE DES CRISES VOLCANIQUES

Parvenir à une meilleure gouvernance des crises volcaniques implique avant tout de créer ou de renforcer des ponts entre les mondes scientifique, opérationnel, politique, et les populations locales. Les recommandations qui suivent vont toutes dans le sens de cette construction.

### ❖ *Une communication scientifique optimisée*

Les problèmes de délivrance des informations inhérents aux systèmes volcaniques ne peuvent être résolus en l'état actuel de la connaissance scientifique. Toutefois, l'application systématique des protocoles de communication de crise proposés par l'IAVCEI Subcommittee for Protocol Crisis [Newhall *et al.* 1999] peut permettre aux scientifiques d'accroitre leur potentiel à communiquer une information claire et compréhensible en période de crise.

### ❖ *Créer une synergie entre acteurs*

Une telle synergie peut passer par la réalisation de projets ou exercices communs. Une table ronde entre opérationnels, scientifiques et populations pourrait être bénéfique, à l'image de celle proposée à Arequipa, au Pérou [Levieux *et al.* 2006].

Dans le domaine de la cohésion des acteurs liés à la gestion des risques à La Réunion, la SOGREAH propose des pistes intéressantes déjà en cours d'application [SOGREAH 2011] : mise en place d'un réseau de « référents risques » constitué d'un binôme élu / cadre administratif d'une structure étatique dans chaque commune, formés aux risques naturels par le Centre National de la Fonction Publique Territoriale ; développement d'un réseau d'observateurs de terrain pour améliorer la connaissance des phénomènes. Par ailleurs, sous l'impulsion du programme « Prévention et gestion des Risques Naturels et des Catastrophes » de la COI, la coopération entre sécurités civiles de la zone sud-ouest de l'Océan Indien a connu un élan important. Le SIDPC de Mayotte coopère par exemple avec la Protection Civile de Moroni sur les questions de préparation aux crises.

### ❖ *Affirmer le rôle de la recherche-action*

Il est nécessaire que les scientifiques travaillant sur la gestion des risques s'impliquent dans une démarche de recherche-action, et que les opérationnels y soient réceptifs. Cette démarche constitue un bon moyen de favoriser la compréhension entre scientifiques, institutionnels et indirectement populations locales, et de trouver des solutions de mise en œuvre des actions envisagées sur la base des résultats scientifiques. Les résultats obtenus au cours de nos travaux ont ainsi été restitués au fur et à mesure aux acteurs qu'ils étaient susceptibles d'intéresser. Nous avons ainsi, même si ce n'est que très modestement, permis de participer à la conscientisation de ces acteurs (COSEP, AMISEC, Ambassade de France aux Comores, EMZPCOI, ONF, CRF, CRCo, autorités locales à nationales), à la préparation du plan de contingence des Comores, et à alimenter des outils de sensibilisation.

### ❖ *Rendre les RETEX systématiques et transparents*

Aux Comores, la procédure de RETEX n'est pas encore institutionnalisée. Il serait nécessaire qu'un guide de réalisation des RETEX adapté au contexte institutionnel national soit réalisé. On peut suggérer une adaptation profonde des guides français [MIAT 2006a, b]. A La Réunion, les RETEX devraient être réalisés plus systématiquement afin de tirer bénéfice des événements vécus.

Les autorités devraient communiquer systématiquement sur la gestion des crises qui viennent de se

produire, expliquer comment elles ont été gérées, admettre les erreurs commises, énoncer les pistes d'amélioration possible. Les RETEX devraient idéalement être partagés avec la population, et non restreints aux institutionnels. Les populations se sentent rassurées lorsque des défauts sont mis en évidence et que des voies d'amélioration sont proposées. A l'inverse, elles rejettent les visions idéalistes des événements, et s'en inquiètent [DSC 2008a].

Enfin, les RETEX devraient intégrer « *LA* » crise vécue par chacun des acteurs, populations comprises, pour s'assurer une compréhension complète des faiblesses à prendre en compte et des forces sur lesquelles s'appuyer. Cela est d'autant plus valable que la crise est, comme l'ont montré nos travaux, un espace de revendication privilégié pour les populations et certains acteurs, notamment parce que leur discours peut être plus facilement couvert médiatiquement.

#### ❖ *Prendre en compte les besoins et représentations des populations*

A l'heure actuelle, la gestion des crises à La Réunion et aux Comores apparaît essentiellement « *top-down* ». Kelman et Mather [2008] soulignent que les mesures de gestion du risque volcanique sont culturellement et économiquement acceptables seulement si elles sont accompagnées d'une implication des communautés. L'importance de l'implication communautaire dans la gestion des menaces volcaniques a également été démontrée par Anderson et Woodrow [1989], Cronin et al. [2004a ; 2004b] et Mitchell [2006]. Elle aide à réduire le gouffre entre les politiques menées par les autorités et le comportement des populations [Kelman et Mather 2008 ; Leonard *et al.* 2008 ; Paton *et al.* 2008]. Ce type d'approche est très efficace dans la mesure où les populations s'approprient les décisions prises en concertation [Gaillard et Maceda 2009 ; Gaillard et Pangilinan 2010]. Les approches « communautaires » sont donc de plus en plus adoptées par les grands organismes de réduction des risques [UNCRD 2004]. En Grande Comore, 64% des répondants déclarent d'ailleurs qu'ils souhaiteraient être personnellement impliqués dans la gestion des risques.

#### ❖ *S'appuyer sur les réseaux existants*

Comme nous l'avons vu, la gestion des crises peut s'appuyer sur les réseaux existants dans le cadre de la diffusion des alertes. Ces réseaux pourraient bénéficier à la gestion des crises en s'impliquant à toutes les étapes depuis la préparation jusqu'à la réhabilitation. En Grande Comore, le très dense réseau d'associations communautaires (souvent créées pour pallier le manque de structures étatiques) pourrait être mis à profit pour porter des projets de réduction des risques. Cela nécessiterait toutefois leur recensement pour une coordination des actions, et un questionnement sur leur légitimité aux yeux des populations.

En dehors de ces associations, le CRCo dispose d'un large réseau de bénévoles formés au secourisme dans l'ensemble de l'archipel, ce qui en fait un partenaire incontournable de la gestion des crises. Lorsque nous avons monté le projet de « sensibilisation aux risques liés au Karthala » avec la CRF et le CRCo, nous ne nous sommes, à tort, pas interrogés sur la légitimité des volontaires du CRCo dans les communautés villageoises. Ils constituaient en effet pour nous un vecteur de diffusion des enquêtes et supports de sensibilisation d'une ampleur inespérée, et les bénévoles nous étaient présentés comme parfaitement intégrés socialement puisqu'originaires des communautés ciblées. Le projet a en effet connu de nombreux écueils sans qu'il ait été possible d'en déterminer les causes exactes[210]. Avant tout autre

[210] Un manque d'implication des volontaires, ou le simple attrait des « *per-diem* » a été souligné à plusieurs reprises en entretien. Rappelons toutefois les conditions sociales particulièrement défavorables au moment de la campagne de sensibilisation.

montage de projet, une enquête complémentaire indépendante serait nécessaire pour vérifier que le CRCo représente bien, aux yeux des communautés, une structure légitime et écoutée. Il s'agit d'évaluer les réseaux les plus fiables.

Conclusion du Chapitre :

Nos travaux montrent qu'il est inutile de chercher des règles aux comportements adoptés par les populations et autorités en situation de crise, tant les facteurs sont nombreux, assimilés différemment d'une société ou d'un individu à l'autre, et en interaction complexe. Cela justifie pleinement l'emploi des méthodes qualitatives développées dans cette thèse, aucune quantification n'étant valable pour déterminer les facteurs les plus importants aux yeux des personnes concernées.

Les mesures théoriques et concrètes proposées en seconde partie de ce chapitre peuvent, chacune à leur manière, contribuer à une meilleure gestion des crises volcaniques sur les deux îles. Leur mise en place est évidemment soumise à l'emprise des causes profondes abordées en première partie. Certaines demandent de petits moyens et sont presque immédiatement applicables (main courante électronique), d'autres des moyens plus importants et un développement plus long (exercice de terrain, campagne de sensibilisation). Les dernières ne demandent pas de moyens : elles nécessitent seulement une évolution de la conception de la gestion de crise par les différentes catégories d'acteurs, afin de parvenir à une gouvernance optimale. Celle-ci passe essentiellement par une meilleure compréhension des attentes des populations par les autorités. Cette thèse, dans la mesure où elle sera diffusée aux intéressés, pourrait constituer un modeste outil pour en prendre le chemin.

# Conclusion générale

Le Karthala par Saïd, en CE1 à Idjinkoundzi, Juillet 2007.

# Conclusion

« *Les crises de demain sont souvent le refus des questions d'aujourd'hui* » Patrick Lagadec

Les analyses menées au cours de cette thèse nous ont permis de dégager des pistes de réflexion pour améliorer la gestion des crises volcaniques à La Réunion et en Grande Comore. Elles viennent combler l'absence de RETEX officiels sur la gestion des éruptions d'avril 2007 à La Réunion et de mai 2006 en Grande Comore, de même que sur les lahars qui touchent la Grande Comore depuis 2005. Elles permettent donc de poser *aujourd'hui* certaines questions qui, faute de temps, de moyens ou de volonté, ne l'ont pas été auparavant. Elles vont ainsi dans le sens d'une meilleure préparation aux crises des deux sociétés insulaires étudiées, ou, peut-être, mieux encore, dans le sens d'un évitement de crises qui pourraient se produire dans un avenir proche en l'absence de ces questionnements.

## Synthèse des modalités de gestion à La Réunion et en Grande Comore

- **A La Réunion, la gouvernance en question**

La question de la gestion des crises volcaniques se pose très différemment sur les deux îles. A La Réunion, elle se cantonne principalement à la gestion des flux de spectateurs, désireux d'accéder aux sites éruptifs lorsque le Piton de la Fournaise entre en éruption. Les autorités définissent alors des politiques d'accès variables, en fonction de la phénoménologie éruptive, des paramètres d'évolution de l'activité enregistrés par l'OVPF, du nombre de visiteurs cherchant à accéder au spectacle, de la disponibilité des moyens de gestion, et de la sensibilité des décideurs en place. Les mesures imposées aux populations par les autorités sont le plus souvent abusivement restrictives, et contraires aux principes édictés dans le PSS Volcan. De fait, elles sont souvent mal vécues par la population, qui, se sentant dépossédée d'un espace naturel et culturel synonyme théorique d'espace de liberté, refuse de se conformer aux interdictions mises en place. Cette politique de gestion des crises éruptives a ainsi fait l'objet d'une contestation grandissante sur l'île ces dernières années, et alimenté périodiquement chez certains Réunionnais un sentiment anti préfectoral. Une gestion plus souple - donc plus acceptable et plus respectueuse des populations -, consisterait à faire de l'interdiction d'accès aux éruptions une exception justifiée par un réel danger, plutôt que d'ériger le principe de précaution en règle absolue ne permettant que des accès frileux au volcan.

Plus rarement, la gestion des crises volcaniques à La Réunion concerne également la protection des populations résidentes de Sainte-Rose et Saint-Philippe, menacées par des événements d'occurrence décennale, hors-Enclos ou proches des bordures de l'Enclos. Là encore, les modalités de gestion, même si elles permettent de mettre les populations en sécurité, sont critiquables à plusieurs égards. Le cas d'étude d'avril 2007 a dévoilé des capacités d'anticipation, d'interprétation et d'action limitées dans certains domaines. Jugées officiellement satisfaisantes par les autorités, les modalités de gestion de cette éruption ont été mal acceptées par les populations (résidentes comme touristiques), de même que par certains gestionnaires s'exprimant à titre personnel pour ne pas impliquer leur institution.

Enfin, la planification de crise néglige de considérer les événements hors-Enclos ou produisant des effets hors Enclos de plus faible récurrence et plus forte intensité. Les autorités et habitants de l'Est réunionnais doivent pourtant être prêts à y faire face, la probabilité d'occurrence de telles éruptions étant faible mais

non nulle. Le projet d'évaluation des risques volcaniques actuellement en cours devrait permettre cette prise en compte.

Si La Réunion est forte d'une riche expérience, et d'instances et outils performants, la gestion des crises qui y est pratiquée doit donc évoluer en intégrant une réflexion sur la dimension sociale voire culturelle de la crise, et en prenant en compte les événements de faible récurrence.

- **En Grande Comore, des carences structurelles majeures**

En Grande Comore, la problématique de la gestion des crises volcaniques se pose très différemment. Elle s'inscrit dans un contexte socio-économique et politique précaire, qui empêche l'ensemble des acteurs de disposer de moyens adéquats pour espérer faire face correctement à la survenue d'une éruption. Les capacités nationales de gestion de crise reposent sur des moyens humains, financiers, matériels et institutionnels dérisoires. Elles s'appuient donc systématiquement sur l'aide de pays tiers. L'expérience des crises volcaniques est par ailleurs limitée, et les moyens de surveillance volcanologique délabrés. Du fait de ce manque de moyens, les réponses apportées face aux crises volcaniques sont essentiellement réactives et compensatoires, aussi bien de la part des gestionnaires que des populations. Les éruptions sont donc, par essence, subies. Elles posent notamment le problème de l'accès aux ressources vitales et du développement potentiel de crises sanitaires de grande ampleur liées à la pollution des réserves d'eau.

- **Une vision inégale des situations de crise**

Dans ce contexte, les autorités et populations comoriennes s'accordent pour qualifier la gestion des crises volcaniques des dernières années de médiocre. Lucides, les autorités s'admettent impuissantes, et trouvent là l'occasion de demander un renforcement de leurs moyens. De nombreux gestionnaires sont avant tout des citoyens qui vivent le même quotidien complexe que le reste de la population.

A La Réunion, au contraire, on note un gouffre entre la perception de l'événement par les autorités et celle de la crise par les populations. Les autorités se montrent relativement hermétiques à la critique, et peu demandeuses d'analyses qu'elles préfèrent réaliser en interne ou ne pas réaliser. Cette remarque n'est toutefois généralisable ni à l'ensemble des acteurs (nombreux à réaliser un travail efficace), ni dans le temps. La politique de gestion est en effet très changeante, puisqu'essentiellement liée à la vision personnelle des gestionnaires qui se succèdent à la tête des instances de gestion. On voit ici toute l'importance du facteur humain dans l'optimisation de la gestion des crises.

- **Des carences communes aux deux territoires et à l'ensemble des acteurs**

Nos travaux ont mis en évidence des carences fondamentales de formation et d'information de l'ensemble des acteurs sur les deux îles. A La Réunion, nous avons déterminé qu'elles sont partiellement imputables au système institutionnel favorisant la mutation géographique régulière des gestionnaires ; en Grande Comore, au manque caractérisé de moyens et à la jeunesse des institutions. La sensibilisation et les exercices proposés en Chapitre VI seraient certainement efficaces pour résoudre ce problème. Si les autorités souhaitent mettre en œuvre les exercices suggérés, nous proposons d'établir les synopsis et chronogrammes pour les mettre à leur disposition.

## Apports et limites de nos travaux

- **La combinaison de méthodes qualitatives et quantitatives**

Sur un plan plus fondamental, nos travaux montrent qu'il est inutile de chercher des règles universelles aux comportements adoptés par les populations et autorités en situation de crise, tant les facteurs sont

nombreux, assimilés différemment d'une société ou d'un individu à l'autre, et en interaction complexe. C'est pourtant la démarche principale adoptée pour étudier les réponses des sociétés face aux crises volcaniques à l'heure actuelle : une certain nombre de caractéristiques (confiance dans les autorités, capacité d'autoprotection perçue, etc.) sont censées être déterminantes. Nous démontrons au contraire que les causes profondes de ces comportements doivent être recherchées en analysant qualitativement les cadres structurel et conjoncturel dans lesquels ils s'inscrivent, et en adoptant les points de vue de l'ensemble des acteurs. Ce type d'analyse présente l'inconvénient d'être très chronophage et de demander un suivi régulier pour cerner d'éventuelles évolutions. En revanche, il a l'avantage d'apporter une réflexion globale sur la gestion des crises, tous aléas générateurs confondus. La réflexion sur les causes profondes des réponses, acquise en s'intéressant à un aléa donné, est en effet valable quelque soit le contexte : elle permet une approche multi-risques. En complément, les méthodes d'enquête quantitative peuvent fournir de bonnes indications sur la propension à évacuer, les mouvements d'évacuation spontanée attendus, etc.

- **Une implication directe dans les événements analysés**

L'expérience directe des situations de crise analysées constitue un point fort de ce travail, dans la mesure où un recul suffisant a été pris pour déterminer les biais que cela pouvait impliquer (parti pris, acteurs tentant de nous imposer un point de vue singulier, etc.). Le fait d'avoir réalisé des enquêtes couplées à des observations pendant les crises nous a permis de contourner la critique répandue selon laquelle l'étude des représentations ne reflète pas le fonctionnement d'un système en temps de crise.

- **Des RETEX abordés « différemment »**

Nos retours d'expérience sont par ailleurs riches d'une intégration des populations comme acteur à part entière des situations de crise, ce qui fait aujourd'hui défaut dans les RETEX officiels. Cela nous a permis de mettre en évidence leur point de vue très différent de celui des gestionnaires dans le cas réunionnais. Il serait bénéfique que cette prise en compte de l'acteur majeur que représente la population soit officialisée dans les RETEX.

Nous avons également insisté sur l'importance de rendre les RETEX systématiques pour établie des pistes de progrès en corrigeant les défaillances constatées et en valorisant les comportements et les modes d'organisation qui ont émergé et prouvé leur efficacité (par exemple l'implication au quotidien de l'équipe de l'ORA au Tremblet en 2007).

- **Une indépendance à double tranchant**

L'indépendance de ce travail le garantit intègre : nous n'avons pas cherché à éluder ou taire des éléments sensibles, comme cela aurait éventuellement pu être le cas dans le cadre d'un RETEX officiel. Bien que nous exprimions un avis sur la façon dont il conviendrait de faire évoluer les politiques de gestion, nous n'avons par ailleurs pas de parti pris pour l'une ou l'autre des catégories d'acteurs. Enfin, nous avons veillé à nous départir des pressions que les différents acteurs ont, consciemment ou non, exercé lors des entretiens pour faire passer des messages ou demandes allant dans le sens de leurs intérêts propres. Cette indépendance n'est toutefois pas nécessairement un avantage dans le sens où les acteurs incriminés n'étant pas commanditaires, il n'y a aucune assurance qu'ils soient sensibles aux conclusions de ces travaux. Ces dernières leur ont été transmises à mesure qu'elles étaient formalisées. Elles ont ainsi alimenté progressivement l'élaboration d'une réflexion sur la gestion des crises volcaniques, et la mise en place de programmes de réduction des risques. Evidemment, ces avancées sont à replacer dans un contexte global d'émulation sur ces questions suite aux éruptions de 2005 en Grande Comore et de 2007 à La Réunion. Il est donc impossible de quantifier l'apport exact de nos propositions sur les avancées observées, mais nous pouvons dire qu'elles ont contribué à alimenter cette dynamique.

- **Des propositions de solutions pour répondre aux besoins opérationnels**

Nous avons, en chapitre VI, émis des suggestions sur les évolutions souhaitables de la gestion des crises à La Réunion et en Grande Comore. Certaines relèvent d'une philosophie à adopter pour parvenir à une meilleure gouvernance. D'autres reposent sur des outils concrets : main-courante électronique, supports de sensibilisation, simulations d'évacuation, exercices de gestion de crise. Dans les deux cas, leur adoption est nécessairement conditionnée par l'ensemble des facteurs structurels et conjoncturels analysés au cours de cette thèse (représentations du risque, vulnérabilité socio-économique, politiques de gestion proposées, moyens disponibles au moment où l'événement se produit, etc.).

## Perspectives scientifiques et opérationnelles

Les approches scientifiques et opérationnelles de la gestion des crises étant difficilement dissociables, nos travaux ouvrent des perspectives dans ces deux champs. En dehors des recommandations déjà suggérées au cours des précédents chapitres, il nous semble nécessaire de rappeler quatre points fondamentaux.

- **Tenir compte du contexte culturel local et des représentations.**

Pour pouvoir être efficaces et acceptables par tous, la gestion des risques doit tenir compte du contexte culturel et des représentations des populations concernées. Il serait ainsi intéressant de pouvoir suivre l'évolution des représentations du risque à moyen et long terme, ou à la suite d'événements marquants. Notre enquête sur le risque volcanique en Grande Comore (E-GC2b et c) est, depuis 2011, à nouveau soumise à la population de l'île dans le cadre d'une thèse de doctorat (H. Soule, Université de La Réunion). La comparaison des deux séries de résultats permettra de jauger l'évolution des représentations pour adapter les outils de sensibilisation proposés en Chapitre VI, et plus largement préparer au mieux la gestion des futurs événements. A La Réunion, avant toute réitération, il conviendrait d'élargir la diffusion d'enquêtes aux habitants des communes concernées par les éruptions de faible récurrence, en particulier Saint-Joseph, Petite-Ile, Saint-Pierre, le Tampon, la Plaine des Palmistes, et Saint-Benoît.

- **Intégrer systématiquement les populations locales dans la gestion des risques.**

Alors que la gestion des milieux naturels protégés fait de plus en plus l'objet de concertations avec les usagers, celle des risques et des crises reste embryonnaire dans ce domaine. Il est aujourd'hui nécessaire de développer une gouvernance des crises plus conforme à la volonté et aux besoins de l'ensemble des acteurs. Cela passe, entre autres concertations, par l'implication des communautés locales à un niveau institutionnel en favorisant les CBDRM (*community based disaster risk management*), et en utilisant une combinaison de stratégies *top-down* et *bottom-up* [Gaillard et Dibben 2008]. Nul n'est en effet plus sensible à la lutte contre les catastrophes que les personnes dont la vie et le quotidien sont menacés. De plus, personne n'est mieux placé que les communautés concernées pour identifier les opportunités et les difficultés d'accès aux moyens de protection. Les approches communautaires et participatives apparaissent donc les plus appropriées pour faire face aux risques et aux crises.

Privilégier le niveau communautaire ne doit pas exclure une implication forte des autorités gouvernementales et des institutions internationales. En amont, leur intervention est essentielle pour lever les contraintes structurelles qui empêchent l'accès aux moyens de protection. A l'aval, les autorités gouvernementales doivent soutenir les communautés locales. Ce soutien doit venir compléter les capacités communautaires et non se substituer à celles-ci. En effet, certaines tâches restent difficilement accessibles aux communautés locales qui ne peuvent, par leurs propres moyens, entreprendre des actions de grande envergure (évacuations massives, travaux de construction ou de déblaiement, etc.). L'implication des

autorités gouvernementales doit donc s'appuyer sur un état des lieux initial au niveau communautaire et local. Elle doit aussi s'affranchir d'intérêts politiques à court terme pour s'inscrire dans la durabilité.

- **Inscrire la préparation aux crises dans une optique de développement durable**

Les mesures envisagées doivent aussi être intégrées dans une logique plus large de développement et ne pas être cloisonnées autour des questions de perception et de représentation des risques.

A tous les stades de la gestion des risques et des catastrophes, il apparaît donc nécessaire d'ancrer la réduction des risques et des catastrophes dans la vie quotidienne. Les approches qui favorisent le renforcement et la durabilité des moyens de subsistance s'avèrent les plus efficaces car elles favorisent un accès durable à des moyens de protection efficaces. L'intégration des moyens de subsistance à la réduction de la vulnérabilité des communautés est fondamentale car les lieux de danger sont bien souvent synonymes de ressources. Il est donc souvent impossible d'empêcher des communautés menacées de subvenir à leurs besoins quotidiens au seul titre d'un danger potentiel occasionnel. Les risques et les crises doivent ainsi être considérés dans un cadre quotidien et non en dehors du contexte social. En renforçant les moyens de subsistance, on consolide à la fois le quotidien des communautés menacées et leur capacité à faire face aux phénomènes naturels ou anthropiques rares. De la même manière, la durabilité des moyens de subsistance constitue une garantie essentielle à la protection environnementale, en prévenant la ponction destructrice des ressources naturelles. En retour, une diminution des dommages en cas de catastrophes contribue à la durabilité des moyens de subsistance. Cette démarche doit s'appliquer en amont des catastrophes, en phase de mitigation, mais aussi au lendemain des désastres, durant la période de reconstruction.

Cependant, il s'avère souvent moins aisé de réduire la vulnérabilité, dont les facteurs structurels (pauvreté, accès à la terre et aux ressources, variation du prix des produits de première nécessité, pratiques clientélistes, etc.) apparaissent hors de portée, que d'accroître les capacités. Les capacités sont en effet ancrées dans des savoirs et ressources endogènes, au contraire de la vulnérabilité qui est souvent d'ordre exogène.

- **La nécessité de ne pas opposer les paradigmes établis dans le domaine de la gestion des risques**

A l'heure où beaucoup de chercheurs revendiquent leur appartenance à un paradigme spécifique - dominant, radical ou de la préparation aux crises -, les perspectives énoncées ci-dessus montrent combien il est important de ne pas opposer ces approches. Seule leur combinaison est à même de permettre une gestion optimale des crises et de prévenir l'occurrence de catastrophes. Les réponses des sociétés face à un événement sont en effet conditionnées par les représentations du risque autant que par des contraintes structurelles fortes ou le degré de préparation de la société. Ces facteurs se conjuguent pour former les conditions propices à l'évitement des crises, ou, au contraire, à leur éclatement. Une mauvaise représentation du risque peut ainsi jouer sur le degré de préparation (et réciproquement), tandis que ces deux facteurs sont fonction des contraintes socio-économiques. Chercher à comprendre les situations de crise du point de vue exclusif d'un de ces paradigmes nous paraît vain.

# Bibliographie

ABCHIR, A.M., SEMET, M., BOUDON, G., ILDEFONSE, P., BACHÈLERY, P. et CLOCCHIARIATTI, R. (1998),Huge hydrothermal explosive activity on Piton de la Fournaise, Reunion Island: The Bellecombe Ash Member, 2700 BC, *Proceedings, 2nd workshop on European laboratory volcanoes*, 2-4 May 1996, Santorini, Greece.

ABDALLAH, A. (2006), Vouvouni sous une boue d'eau et de cendres. *Kashkazi* du 23 février 2006. Numéro 29.

ABDOULAHIK, F. et HAMIDOU ALI, M. (1998), *Analyse des phénomènes d'érosion côtière au niveau des sites pilotes de la Grande Comores*. Association d'Intervention pour le Développement et l'Environnement (A.I.D.E), 1-30 p.

AHMED SOILIH, Z. (2006), *Impacts des éruptions volcaniques à la Grande Comores : Cas des inondations de Vouvouni*. Rapport de fin d'études L3, Université de Moroni, Moroni, Union des Comores, Licence professionnelle "Qualité des aliments et de l'environnement"sous la direction de H. SOULE et S. ALI MBAE. 39 p.

AKI, K. et FERRAZZINI, V. (2000), Seismic monitoring and modeling of an active volcano for prediction. *Journal of Geophysical Research*, vol. 105, n°B7, pp. 16617-16640.

ALLARD, P., DAJLEVIC, D. et DELARUE, C. (1989), Origin of carbon dioxide emanation from the 1979 Dieng eruption, Indonesia: Implications for the origin of the 1986 Nyos catastrophe. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 39, n°2–3, pp. 195-206.

ANDERSON, M. et WOODROW, P. (1989), *Rising from the ashes: development strategies in times of disasters*. 352 p. ISBN 1853394394.

APOLLO et TRONDHEIM, L. (2011), *Ile Bourbon 1730*. édité par DELCOURT. Tournai, Belgique. 287 p.

APPERT, M. et CHAPELON, L. (2008),La vulnérabilité des réseaux routiers urbains face au risque d'altération, *Géorisques*, Montpellier.

ASPINALL, W. et COOKE, R.M. (1998), Expert judgement and the Montserrat volcano eruption. *Probabilistic Safety Assessment and Management (Psam 4), Vols 1-4*, pp. 2113-2118.

AUBAUD, C. et BESSON, P. (2007), *Rapport sur les échantillons REU0704-052 et REU0704-053*. IPGP, 5 p.

AUGENDRE, M. (2004), Le risque naturel devenu symbiose ? Les volcans actifs d'Hokkaidô, Japon / Natural risk converted into symbiosis? Active volcanoes in Hokkaido, Japan. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 10, n°2, pp. 101-116.

AUGENDRE, M. et PERRIN, J. (2011), Les conditions du développement durable insulaire posées par le risque volcanique à Miyake-jima (Japon) : atouts ou menaces ? In F. TAGLIONI. *Insularité et développement durable.* Marseille, France: IRD, pp. 385-404.

AVEROUS, P. (1983), *Esquisse géomorphologique des atterrages de l'île de La Réunion*, Terres Australes et Antarctiques Françaises,

BACHÈLERY, P. (1981), *Le Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion). Etude volcanologique, structurale et pétrologique*. Thèse de doctorat, Sciences de la Terre, Université Clermont-Ferrand II, Clermont-Ferrand, France. 257 p.

BACHÈLERY, P. (1999), *Le fonctionnement des volcans-boucliers. Exemple des volcans de la Réunion et de la Grande Comore*. Mémoire d'HDR, LSTUR, Université de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France. 239 p.

BACHÈLERY, P., BEN ALI, D., DESGROLAND, F., TOUTAIN, J.P., COUDRAY, J., CHEMINEE, J.L., DELMOND, J.C. et KLEIN, J.L. (1995), L'éruption phréatique du Karthala (Grande Comore) en juillet 1991. *Comptes Rendus De L'Academie Des Sciences*, vol. 320, n°II-a, pp. 691-698.

BACHÈLERY, P. et COUDRAY, J. (1993), *Carte volcano-tectonique (1/50000e) de la Grande Comore et notice explicative* [Document cartographique], 1 carte : en coul. ; 140 x 190 cm, pliée 130 x 120 cm, République Fédérale Islamique des Comores, Centre national de documentation et de recherches scientifiques / République Française, Université de La Réunion, Département Sciences de la Terre, Saint-Denis de La Réunion, France.

BACHÈLERY, P. et DELCHER, E. (2007), *Rapport sur l'éruption de janvier 2007 au Karthala*. IPGP, 2 p.

BACHÈLERY, P. et LÉNAT, J.-F. (1993), Le Piton de la Fournaise. *Mém. Soc. géol. France*, vol. 163, pp. 221-229.

BACHÈLERY, P. et MAIRINE, P. (1990), Evolution volcano-structurale du Piton de la Fournaise depuis 0.53 Ma. In J.-F. LÉNAT. *Le Volcanisme de la Réunion, monographie.* Clermont-Ferrand, France: Centre de Recherches Volcanologiques, pp. 213-242.

BACHÈLERY, P. et MICHON, L. (2010),The Enclos caldera: how did it form?, *IAVCEI Third Workshop on Collapse Calderas*, La Réunion.

BACHÈLERY, P. et MORIN, J. (2007), Dzaha Karthala Le Volcan Cannibale. In *Eruption.* Pyros, vol. 16, 31-39 p.

BACHÈLERY, P., SAINT-ANGE, F., VILLENEUVE, N., SAVOYE, B., NORMAND, A., LE DREZEN, E., BARRÈRE, A., QUOD, J.-P. et DEPLUS, C. (2010), Huge lava flows into the sea and caldera collapse, April 2007, Piton de la Fournaise volcano. *IAVCEI Third Workshop on Collapse Calderas, La Réunion*, pp. 73–74.

BACHÈLERY, P. et VILLENEUVE, N. (à paraître), Hot spots and large igneous provinces. In J. SHRODER et L. OWEN. *Treatise on Geomorphology.* San Diego, CA: Academic Press, vol. 5, pp. 1-40.

BAILEY, H., GOTTSMANN, J. et PEOPLES, C. (2010),Auditing the 2004/5 Volcanic Crisis on Tenerife: Preliminary Results on Issues of Risk Perception, Trust and Governance, *Cities on Volcanoes 6*, Puerto de la Cruz, Tenerife, Espagne.

BALGOS, B., GAILLARD, J.C. et SANZ, K. (2012), The warias of Indonesia in disaster risk reduction: the case of the 2010 Mt Merapi eruption in Indonesia. *Gender & Development*, vol. 20, n°2, pp. 337-348.

BANKOFF, G. (2004), In the Eye of the Storm: The Social Construction of the Forces of Nature and the Climatic and Seismic Construction of God in the Philippines. *Journal of Southeast Asian Studies*, vol. 35, n°1, pp. 91-111.

BARBERI, F., BRONDI, F., CARAPEZZA, M.L., CAVARRA, L. et MURGIA, C. (2003), Earthen barriers to control lava flows in the 2001 eruption of Mt. Etna. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 123, n°1–2, pp. 231-243.

BARBERI, F., CARAPEZZA, M.L., VALENZA, M. et VILLARI, L. (1993), The control of lava flow during the 1991–1992 eruption of Mt. Etna. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 56, n°1–2, pp. 1-34.

BARBERI, F., DAVIS, M., ISAIA, R., NAVE, R. et RICCI, T. (2008), Volcanic risk perception in the Vesuvius population. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 244-258.

BASTIAN, M. (2009), *L'éruption d'avril 2007 du Piton de la Fournaise, étude du discours médiatique et de la réponse opérationnelle*. Mémoire de Master 2, Geographie, Université de Strasbourg, Strasbourg, sous la direction de M. WATIN et J. MORIN. Soutenance 06/07/2009, 64 p.

BATTISTINI, R. et VÉRIN, P. (1984), *Géographie des Comores*. Paris, France: Nathan. 142 p.

BAUTISTA, C. (2006). *The Mount Pinatubo Disaster and the People of Central Luzon* [en ligne], disponible sur http://pubs.usgs.gov/pinatubo/cbautist/.

BAXTER, J. (1990), Medical effects of volcanic eruptions. Main causes of death and injury. *Bulletin of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 52, pp. 532-544.

BAXTER, J. et ANCIA, A. (2002), *Human health and vulnerability in the Nyiragongo volcano crisis Democratic Republic of Congo 2002: Final report to the World Health Organisation*. World Health Organisation, 49 p.

BAXTER, J., NERI, A. et TODESCO, M. (1998), Physical Modelling and Human Survival in Pyroclastic Flows. *Natural Hazards*, vol. 17, pp. 163-176.

BAXTER, P., NERI, A. et BLONG, R. (2008a), Evaluating explosive eruption risk at European volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 178, n°3, pp. v-ix.

BAXTER, P.J., ASPINALL, W.P., NERI, A., ZUCCARO, G., SPENCE, R.J.S., CIONI, R. et WOO, G. (2008b), Emergency planning and mitigation at Vesuvius: A new evidence-based approach. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 178, n°3, pp. 454-473.

BAXTER, P.J. et GRESHAM, A. (1997), Deaths and injuries in the eruption of Galeras Volcano, Colombia, 14 January 1993. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 77, n°1-4, pp. 325-338.

BECK, E. (2006), *Approche multi-risques en milieu urbain. Le cas des risques sismique et technologiques dans l'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin)*. Thèse de Doctorat, Laboratoire Image et Ville - Institut de Physique du Globe de Strasbourg, Université Louis Pasteur Strasbourg I, Strasbourg, France, sous la direction de C. WEBER et M. GRANET. Soutenance 26/09/2006, 283 p.

BECK, E., ANDRÉ-POYAUD, I., CHARDONNEL, S., DAVOINE, P.-A. et LUTOFF, C. (2010 ), *MOVISS : Méthodes et Outils pour l'évaluation de la VulnérabIlité Sociale aux Séismes - rapport final*. Programme Pôle Grenoblois des Risques Naturels, 75 p.

BENSON, C. et TWIGG, J. (2007), *Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction: Guidance notes for Developement Organisations*. Provention Consortium, 184 p.

BERTHIER, N. (2006), *Les techniques d'enquête en sciences sociales : méthodes et exercices corrigés*. Paris: Armand Colin. 352 p.

BERTILE, W. (1987), *Des coulées volcaniques à Saint Philippe (mars 1986) : gestion d'une catastrophe naturelle*. Edition Conseil Général de La Réunion. Saint Denis, La Réunion. 60 p.

BERTILE, W. (2011), *L'éruption d'avril 2007 à La Réunion : une géographie redessinée - Accompagnée de Patrimoine et souvenirs engloutis*. édité par S. EDITIONS. Sainte-Clothilde, La Réunion. 131 p.

BHATT, M.R. (1998), "Can vulnerability be understood?". In D.N.I.T. PUBLICATIONS. *Understanding vulnerability: South Asian perspectives.* Filey: J. Twigg & M. Bhatt (eds), pp. 238-258.

BHUGWANT, C., SIÉJA, B., BESSAFI, M., STAUDACHER, T. et ECORMIER, J. (2009), Atmospheric sulfur dioxide measurements during the 2005 and 2007 eruptions of the Piton de La Fournaise volcano: Implications for human health and environmental changes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 184, n°1-2, pp. 208-224.

BHUGWANT, C., SIÉJA, B., PERRON, L., RIBVIÈRE, E. et STAUDACHER, T. (2002), Impact régional du dioxye de soufre d'origine volcanique induit par l'éruption de la Fournaise (île de La Réunion) en juin-juillet 2001. *Pollution Atmosphérique*, pp. 527-539.

BIRD, D., GÍSLADÓTTIR, G. et DOMINEY-HOWES, D. (2011), Different communities, different perspectives: issues affecting residents' response to a volcanic eruption in southern Iceland. *Bulletin of Volcanology*, vol. 73, n°9, pp. 1209-1227.

BIRD, D.K. et GÍSLADÓTTIR, G. (2012), Residents' attitudes and behaviour before and after the 2010 Eyjafjallajökull eruptions - a case study from southern Iceland. *Bull Volcanol*, vol. 74, pp. 1263–1279.

BIRD, D.K., GISLADOTTIR, G. et DOMINEY-HOWES, D. (2009), Resident perception of volcanic hazards and evacuation procedures. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, vol. 9, n°1, pp. 251-266.

BIRD, D.K., GISLADOTTIR, G. et DOMINEY-HOWES, D. (2010), Volcanic risk and tourism in southern Iceland: Implications for hazard, risk and emergency response education and training. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 189, n°1-2, pp. 33-48.

BLAIKIE, P. (1985), *The political economy of soil erosion in developing countries*. édité par LONGMAN. 200 p. ISBN 0582300894.

BLANCHY, S. (2003), Seul ou tous ensemble ?. Dynamique des classes d'âge dans les cités de l'île de Ngazidja, Comores. *L'Homme*, vol. 3-4, n°167-168, pp. 153-186.

BLANCHY, S. (2005), Esclavage et commensalité à Ngazidja, Comores. *Cahiers d'études africaines*, vol. 3-4, n°179, pp. 905-934.

BLONG, R. (2000), Volcanic Hazards and Risk Management. In H. SIGURDSSON. *Encyclopedia of Volcanoes.* San Diego, California, USA: Academic Press, pp. 1215-1227.

BLONG, R.J. (1984), *Volcanic Hazards: A Sourcebook on the Effects of Eruptions*. Orlando: Academic Press Inc. 424 p. ISBN 0121071804.

BLONG, R.J. (1996), Volcanic hazards risk assessment. In R. SCARPA et R.I. TILLING. *Monitoring and mitigation of volcanic hazards.* Berlin Heidelberg New York: Springer, pp. 675-698.

BOSQUET, M.-F. (2005), Préface. In *Magma Mater, L'imaginaire du volcan dans l'océan Indien.* Paris, pp. 15-18.

BRGM (2003a), *Cartographie de l'aléa volcanisme à l'échelle 1/25 000 sur le bassin de risque de la Région Est - Commune de la Plaine des Palmistes* [Document cartographique], BRGM-DIREN, Atlas des Risques Naturels à La Réunion.

BRGM (2003b), *Cartographie de l'aléa volcanisme à l'échelle 1/25 000 sur le bassin de risque de la Région Est - Commune de Saint-Benoît* [Document cartographique], BRGM-DIREN, Atlas des Risques Naturels à La Réunion.

BRGM (2003c), *Cartographie de l'aléa volcanisme à l'échelle 1/50 000 sur le bassin de risque de la Région Est - Communes de Bras-Panon, Saint-Benoît et la Plaine des Palmistes* [Document cartographique], BRGM-DIREN, Atlas des Risques Naturels à La Réunion.

BRGM (2003d), *Cartographie de l'aléa volcanisme à l'échelle 1/50 000 sur le bassin de risque des ravines du Sud* [Document cartographique], BRGM-DIREN, Atlas des Risques Naturels à La Réunion.

BRGM (2008), Dossier Départemental des Risques Majeurs de La Réunion. In P.D.L. RÉUNION. 104 p.

BUFFONGE, C. (1998), *Volcano! Book 3, Events in Montserrat during 1997*. 141 p.

BUFFONGE, C. (2000), *Volcano! Book 4, 1998 and 1999: Montserrat looks to the future and the road to recovery*. 181 p.

BURKE, K. (1996), The African Plate. *South Afr. Journ Geol.*, vol. 99, pp. 339-409.

BURTON, I., KATES, R.W. et WHITE, G.F. (1978), *The environment as hazard*. New York: Oxford University Press. 290 p.

CALVET, L. et GRISLAIN-LETRÉMY, C. (2010), L'assurance habitation dans les départements d'Outre Mer. In *Etudes & documents - Collection « Études et documents », Commissariat Général au Développement Durable, Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable.* Paris, France, vol. 24, 34 p.

CANNON, T. (1994), Vulnerability Analysis and the Explanation of 'Natural' Disasters. In A. VARLEY. *Disasters, Development and Environment.* Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, pp. 13-30.

CARAYOL, R., ELBADAWI, S. et SAINDOU, K.E. (2007), *Une suite à Moroni Blues*. édité par LES ÉDITIONS DE LA LUNE. Paris, France. 47 p.

CARLINO, S., SOMMA, R. et MAYBERRY, G. (2008), Volcanic risk perception of young people in the urban areas of Vesuvius: Comparisons with other volcanic areas and implications for emergency management. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 229-243.

CGP (2003), Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Commissariat Général au Plan.

CHALINE, C. et DUBOIS-MAURY, J. (1994), *La ville et ses dangers*. Paris: Masson. 246 p. ISBN 2225843228.

CHAMBERS, R. (1994), The Origins and Practice of Participatory Rural Appraisal. *World Development*, vol. 22, n°7, pp. 953-969.

CHAMBERS, R. (2007), *Who Counts? The Quiet Revolution of Participation and Numbers*. Brighton, UK: Institute of Development Studies. 45 p.

CHAMBERS, R. (2008), *Revolutions in Developement Inquiry*. édité par EARTHSCAN. Londres. 256 p.

CHARDON, A.-C. (1994), Étude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels. *Revue de géographie alpine*, n°4, pp. 99-111.

CHAUVEAU, E., CHADENAS, C., COMENTALE, B., POTTIER, P., BLANLOEIL, A., FEUILLET, T., MERCIER, D., POURINET, L., ROLLO , N., TILLIER , I. et TROUILLET, B. (2011), Xynthia : leçons d'une catastrophe. *Cybergeo*, vol. 538.

CHESTER, D. (1993), *Volcanoes and society*. London & New-York: Edward Arnold. 351 p. ISBN 0340517611.

CHESTER, D.K. (2005), Theology and disaster studies: The need for dialogue. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 146, n°4, pp. 319-328.

CHESTER, D.K., DEGG, M., DUNCAN, A.M. et GUEST, J.E. (2001), The increasing exposure of cities to the effects of volcanic eruptions: a global survey. *Environmental Hazards*, vol. 2, pp. 89-103.

CHESTER, D.K., DUNCAN, A.M. et DIBBEN, C.J.L. (2008), The importance of religion in shaping volcanic risk perception in Italy, with special reference to Vesuvius and Etna. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 216-228.

CHOUAYBOU, K. (2010), *Les risques volcaniques en Grande Comore*. Rapport de Master 2, Geographie, Université Paris 8, Paris, France, sous la direction de F. LAVIGNE. 81 p.

CHRÉTIEN, S. et BROUSSE, R. (2002), *La Montagne Pelée se réveille : comment se prépare une éruption cataclysmique*. Edition Société Nouvelle des Editions Boubée. Paris, France. 243 p.

CHRISTIANSEN, R.L. et PETERSON, D.W. (1981), Chronology of the 1980 eruptive activity. In *The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington.* USGS, pp. 17-30.

CLARKE, T. (2001), Taming Africa's killer lake. *Nature*, vol. 409, n°6820, pp. 554-555.

CLASS, C., GOLDSTEIN, S.L., ALTHERR, R. et BACHÈLERY, P. (1998), The process of Plume - Lithosphere interactions in the Ocean Basins - The case of Grande Comore. *Journal of Petrology*, vol. 39, n°5, pp. 881-903.

COBURN, A.W., SPENCE, R.J.S. et POMONIS, A. (1994), *Vulnerability and Risk Assessment*. Cambridge Architectural Research Limited, Cambridge, UNDP, DHA, 70 p.

COI (1992), *Rapport d'Expertise Sécurité Régionale - Programme PARSEC*. La République Fédérale Islamique des Comores, 27 p.

COI (2011). *Prévention et Gestion des Risques naturels et des Catastrophes à la COI* [en ligne], disponible sur http://www.acclimate-oi.net/prevention-et-gestion-risques-naturels-et-catastrophes-coi, consulté le 13/01/2012.

COLA, R.M. (1996), Responses of Pampanga households to lahar warnings: lesson from two villages in the Pasig-Potrero river watershed. In C.G. NEWHALL et R.S. PUNONGBAYAN. *Fire and mud. Eruptions and lahars of Mt Pinatubo, Philippines.* Seattle: University of Washington Press, pp. 141-149.

COLLECTIF (2000), *Le Patrimoine des Communes de La Réunion*. édité par F. EDITIONS. Paris. 509 p.

CONSEIL RÉGIONAL DE LA RÉUNION (2010), *Schéma d'Aménagement Régional de La Réunion*. Région Réunion, vol. 1-4, 546 p.

COURTILLOT, V., BESSE, J., VANDAMME, D., MONTIGNY, R., JAEGER, J.J. et CAPETTA, H. (1986), Deccan flood basalts at the Cretaceous/Teertiary boundary ? *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 80, pp. 361-374.

CRED (2010). *EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database* [en ligne], Base de données disponible sur www.em-dat.net, document datant du 10/10/2011.

CREGUR (2003), Atlas Géographique Informatisé Régional - La Réunion dans le bassin india-océanique.

CRÉTON-CAZANAVE, L., LUTOFF, C. et SOUBEYRAN, O. (2009), Alerte aux crues rapides : de l'utilité d'une nouvelle approche. In S. BECERRA et A. PELTIER. *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés.* Paris: L'Harmattan, coll. Sociologies et environnement, pp. 483-494.

CRONIN, S.J., GAYLORD, D.R., CHARLEY, D., ALLOWAY, B.V., WALLEZ, S. et ESAU, J.W. (2004a), Participatory methods of incorporating scientific with traditional knowledge for volcanic hazard management on Ambae Island, Vanuatu. *Bulletin of Volcanology*, vol. 66, n°7, pp. 652-668.

CRONIN, S.J., PETTERSON, M.G., TAYLOR, P.W. et BILIKI, R. (2004b), Maximising Multi-Stakeholder Participation in Government and Community Volcanic Hazard Management Programs ; A Case Study from Savo, Solomon Islands. *Natural Hazards*, vol. 33, pp. 105-136.

CUTTER, S.L. (1995), *Living with risk: the geography of technological hazards* John Wiley & Sons. 214 p. ISBN 978-0470249772.

D'ERCOLE, R. (1991), *Vulnérabilité des populations face au risque volcanique. Le cas de la région du volcan Cotopaxi (Equateur)*. Université Joseph Fourier, Grenoble, PhD. 460 p.

D'ERCOLE, R. (1994), Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. *Revue de géographie alpine*, vol. 4, pp. 87-96.

D'ERCOLE, R. (1996), Représentations cartographiques des facteurs de vulnérabilité des populations exposées à une menace volcanique. Application à la région du volcan Cotopaxi (Equateur). *Bull. Inst. Etudes andines*, vol. 25, n°3, pp. 479-507.

D'ERCOLE, R. (2002), Forces et faiblesses de la gestion des risques au Japon : une réflexion à partir de la crise liée à l'éruption du volcan Usu (Hokkaidô) de 2000. *Annales de Géographie*, vol. 627-628, pp. 524-548.

D'ERCOLE, R. et METZGER, P. (2000), La vulnérabilité de Quito (Equateur) face à l'activité du Guagua Pichincha. Les premières leçons d'une crise volcanique durable. *Cahiers Savoisiens de Géographie*, vol. 1, pp. 39-52.

D'ERCOLE, R. et METZGER, P. (2001),Différenciations spatiales et sociales, Représentations et Gestion du risque volcanique à Quito, *Actes du colloque international « Risques et territoires », Atelier 3, ENTPE*, Vaulx-en-Velin.

D'ERCOLE, R. et RANCON, J.-P. (1994), La future éruption de la Montagne Pelée : risque et représentations. *Mappemonde*, vol. 4, pp. 31-36.

DA CRUZ, V., FENGLER, W. et SCHWARTZMAN, A. (2004), Remittances to Comoros – Volume, Trends, Impact and Implications. *Africa Region Working Paper Series*, vol. 75, pp. 1-37.

DAMBY, D.E., HORWELL, C.J., BAXTER, P.J., DELMELLE, P., DONALDSON, K., DUNSTER, C., FUBINI, B., MURPHY, F.A., NATTRASS, C., SWEENEY, S., TETLEY, T.D. et TOMATIS, M. (2012), The respiratory health hazard of tephra from the 2010 Centennial eruption of Merapi with implications for occupational mining of deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. in press.

DAUPHINÉ, A. (2001), *Risques et catastrophes. Observer - spatialiser - comprendre - gérer.* édité par A. COLIN. 288 p.

DE BÉLIZAL, E., LAVIGNE, F., GAILLARD, J.-C. et GRANCHER, D. (2011a), Réaction des populations en cas d'alerte sur les flancs des volcans actifs tropicaux: exemple de la crise du Kelut (Java, Indonésie), fin 2007. *Bulletin de l'Association de géographes français*, vol. 88, n°1, pp. 56-65.

DE BÉLIZAL, É., LAVIGNE, F., GAILLARD, J.C., GRANCHER, D., PRATOMO, I. et KOMOROWSKI, J.-C. (2012), The 2007 eruption of Kelut volcano (East Java, Indonesia): Phenomenology, crisis management and social response. *Geomorphology*, vol. 136, n°1, pp. 165-175.

DE BÉLIZAL, E., LAVIGNE, F. et GRANCHER, D. (2011b), Quand l'aléa devient la ressource : l'activité d'extraction des matériaux volcaniques autour du volcan Merapi (Indonésie) dans la compréhension des risques locaux. *Cybergeo : European Journal of Geography*. DOI: 10.4000/cybergeo.23555. Disponible en ligne: http://cybergeo.revues.org/23555.

DE SAINT-OURS, J. (1958), *Etudes géologiques dans l'extrême Nord de Madagascar et de l'Archipel des Comores*. Thèse de Doctorat, Service géologique de Tananarive, Tananarive, Madagascar. 205 p.

DE VANSSAY, B. et COLBEAU-JUSTIN, L. (1999), *La construction des dynamiques des résistances à l'évacuation : la Soufrière de Montserrat (1995-1999), Rapport MATE, Programme Risques Collectifs et Situations de Crise du CNRS*. *Cadre de vie - Environnement (CA2)*. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 185 p.

DE VOOGD, B., PALOME, S., HIRN, A., CHARVIS, P., GALLART, J., ROUSSET, D., DANOBEITIA, J. et PERROUD, H. (1999), Vertical movements and material transport during hotspot activity : seismic reflection profiling offshore La Reunion. *Journal of Geophysical Research*, vol. B104, n°2, pp. 2855-2874.

DELICA-WILLISON, Z. et WILLISON, R. (2004), Vulnerability reduction: a task for the vulnerable people themselves. In G. BANKOFF, G. FRERKS et D. HILHORST. *Mapping vulnerability: disasters, developement and people.* Londres: Earthscan, pp. 145-158.

DELORME, H., BACHÈLERY, P., BLUM, P., CHEMINEE, J., DELARUE, J., DELMOND, J., HIRN, A., LEPINE, J., VINCENT, P. et ZLOTNICKI, J. (1989), March 1986 eruptive episodes at Piton de la Fournaise volcano (Reunion Island). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 36, n°1-3, pp. 199-208.

DEMORAES, F. (2004), *Mobilité, enjeux et risques dans le District Métropolitain de Quito (Equateur)*. Thèse de Doctorat, Géographie, Université de Savoie, Chambery, France. 587 p.

DENIEL, C. (1998), Geochemical and isotopic (Sr, Nd, Pb) evidence for plume-lithosphere interactions in the genesis of Grand Comore magmas (Indian Ocean). *Chemical Geology*, vol. 144, pp. 281-303.

DENIEL, C., CONDOMINES, M., KIEFFER, G., BACHÈLERY, P. et HARMON, R.S. (1989),U-Th-Ra radioactive disequilibrium and Sr and O isotopoes in Piton des Neiges and Piton dela Fournaise lavas (Reunion Island), *IAVCEI - Continental Magmatism*, Mexico.

DEREVEUX, S. (2001), Livelihood insecurity and Social Protection: A Re-emerging Issue in Rural Developement. *Developement Policy Review*, vol. 19, n°4, pp. 507-519.

DEROUSSI, S., DIAMENT, M., FERET, J.B., NEBUT, T. et STAUDACHER, T. (2009), Localization of cavities in a thick lava flow by microgravimetry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 184, n°1–2, pp. 193-198.

DFID (2001), *Sustainable livelihoods guidance sheets*. Department for International Development, 154 p.

DFID (2003), *Communication during volcanic emergencies - An operations manual for the Caribbean*. *DFID Project R7406: Protecting small islands by improving forecasting and warning*. Department for International Development, 37 p.

DI MURO, A., BACHÈLERY, P., BOISSIER, P., CYPRIEN, A., DAVOINE, P.A., FADDA, P., FAVALLI, V., FERRAZZINI, V., FINIZOLA, A., LEROI, G., LEVIEUX, G., MAIRINE, P., MANTA, F., MICHON, L., MORANDI, A., NAVE, R., PELTIER, A., PRINCIPE, C., RICCI, T., ROULT, G., SAINT-MARC, C., STAUDACHER, T. et VILLENEUVE, N. (2012), *Evaluation de l'aléa volcanique à La Réunion - Rapport Final Année I*. OVPF, 84 p.

DIBBEN, C. (2008), Leaving the city for the suburbs—The dominance of 'ordinary' decision making over volcanic risk perception in the production of volcanic risk on Mt Etna, Sicily. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 288-299.

DIBBEN, C. et CHESTER, D.K. (1999), Human vulnerability in volcanic environments: the case of Furnas, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 92, pp. 133-150.

DIMEO, D. (2006a), Italie : 72 heures pour évacuer 600 000 personnes. *Libération*, vol. 2006-10-26.

DIMEO, D. (2006b), Le Vésuve dépeuple ses pentes. *Libération*, vol. 2006-10-20.

DIRECTION DE LA DÉFENSE ET DE LA SÉCURITÉ CIVILES (2006), *Guide ORSEC départemental - Méthode générale*. Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire, vol. G.1, 1-69 p.

DIRECTION DE LA DÉFENSE ET DE LA SÉCURITÉ CIVILES (2009), *Guide ORSEC départemental - Dispositions génréales mode d'action "Soutien des populations"*. Ministère de l'Intérieur de l'Outre-Mer et des Collectivités Territoriales, , vol. G.2, 1-83 p.

DIRECTION DE LA SÉCURITÉ CIVILE (2008), *Organisation de la Réponse de Sécurité Civile*. Ministère de l'Intérieur de l'Outre-Mer et des Collectivités Territoriales, , 1-16 p.

DOBRAN, F. (2006), *Vesuvius - Education, security, and prosperity*. Amsterdam: Elsevier. 389 p.

DOMINEY-HOWES, D. et MINOS-MINOPOULOS, D. (2004), Perceptions of hazard and risk on Santorini. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 137, pp. 285-310.

DONOVAN, A., OPPENHEIMER, C. et BRAVO, M. (2011), Rationalising a volcanic crisis through literature: Montserratian verse and the descriptive reconstruction of an island. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 203, n°3-4, pp. 87-101.

DOVE, M.R. (2007), Perceptions of Local Knowledge and Adaptation on Mount Merapi, Central Java. In R.F. ELLEN et R. PURI. *Traditional Ecological Knowledge and Crisis Management in Island Southeast Asia.* New York, USA: Berghahn Books, pp. 238-262.

DOVE, M.R. (2008), Perception of volcanic eruption as agent of change on Merapi volcano, Central Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 329-337.

DSC (2008a), *Exercices de Sécurité Civile - Comment les préparer. Les réaliser? Les évaluer? Mémento en 10 points*. Direction de la Sécurité Civile, Sous-direction de la gestion des risques, Ministère de l'Intérieur, de l'Outre Mer et des Collectivités Territoriales, 82 p.

DSC (2008b), *Plan Communal de Sauvegarde - "S'entraîner pour être prêt" - Les exercices*. Ministère de l'Intérieur de l'Outre-Mer et des Collectivités Territoriales, 89 p.

DSC (2009), *Exercices de sécurité civile - Guide thématique sur les exercices PPI*. 84 p.

DSC (2011), *Exercices de sécurité civile - guide méthodologique sur les exercices cadre et terrain*. Ministère de l'Intérieur de l'Outre-Mer des Collectivités Territoriales et de l'Immigration, 70 p.

DUBOIS, J. (2007), *Volcans actifs et risques volcaniques - Martinique, Guadeloupe, Réunion, Pacifique*. édité par DUNOD. Paris. 260 p. ISBN 978-2-10-051125-9.

DURVILLE , P., MULOCHAU, T., BARRÈRE , A., QUOD, J.-P., SPITZ, J., QUÉRO, J.-C. et RIBES, S. (2009), Inventaire des poissons récoltés lors de l'éruption volcanique d'avril 2007 du Piton de la Fournaise (Ile de La Réunion). *Ann. Soc. Sci. Nat. Charente-Maritime*.

ELBADAWI, S. (2007), *Moroni Blues*. Comores: Bilk & Soul. 62 p. ISBN 2-914564-37-6.

EMERICK, C.M. et DUNCAN, R.A. (1982), Age progressive volcanism in the Comores Archipelago, western Indian Ocean and implications for Somali plate tectonics. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 60, pp. 415-428.

ESSON, J., FLOWER, M.F.J., STRONG, D.F., UPTON, B.G. et WADSWORTH, W.J. (1970), Geology of the Comores Archipelago, Western Indian Ocean. *Geol. Mag.*, vol. 6, pp. 549-557.

EVE, P. (2005), Bourbonnais, explorateurs européens et la Fournaise du XVIIe siècle au début du XIXe siècle. In *Magma Mater, L'imaginaire du volcan dans l'océan Indien.* Paris, pp. 107-123.

FARMER, F.R. (1977), Today's risks: thinking the unthinkable. *Nature*, n°267, pp. 92-93.

FISKE, R. (1984), Volcanologists, Journalists, and the Concerned Local Public: A Tale of Two Crises in the Eastern Caribbean. In *Explosive Volcanism: Inception, Evolution, and Hazards.* Washington: National Academy Press, pp. 170-176.

FLOWER, M.F.J. et STRONG, D.F. (1969), The significance of sandstone inclusions in lavas of the Comoros archipelago. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 7, pp. 47-50.

FOLIN, S. (2008), *Les fils du Volcan*. Edition Anne Carrière. Paris. 183 p.

FRUET, A. (2005), La Résistible fascination du feu. In *Magma Mater, L'imaginaire du volcan dans l'océan Indien.* Paris, pp. 125-135.

GAILLARD, J.-C. (2001), *Implications territoriales et socio-économiques des crises et des réponses liées à l'éruption et aux lahars du Mont Pinatubo, 1991-2001 (Philippines)*. Universisté de Savoie, sous la direction de C. MEYZENQ. Soutenance 20/12/2001, 542 p.

GAILLARD, J.-C. (2007), De l'origine des catastrophes : phénomènes extrêmes ou âpreté du quotidien ? *Natures Sciences Sociétés*, vol. 15, n°1, pp. 44-47.

GAILLARD, J.-C. (2008), Alternative paradigms of volcanic risk perception: The case of Mt. Pinatubo in the Philippines. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 315-328.

GAILLARD, J.-C., CLAVÉ, E., VIBERT, O., AZHARI, DEDI, DENAIN, J.-C., EFENDI, Y., GRANCHER, D., SARI, D.S.R. et SETIAWAN, R. (2011), Acihais, Minangkabaus et Simeulues : trois ethnies face à la catastrophe du 26 décembre 2004. In F. LAVIGNE et R. PARIS. *Tsunarisque.* Paris, France: Publications de la Sorbonne, pp. 177-198.

GAILLARD, J.-C. et DIBBEN, C.J.L. (2008), Volcanic risk perception and beyond. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 163-169.

GAILLARD, J.-C., KELMAN, I. et CLAVE, E. (2008a), Wave of peace? Tsunami disaster diplomacy in Aceh, Indonesia. *Geoforum*, vol. 39, n°1, pp. 511-526.

GAILLARD, J.-C., LIAMZON, C.C. et MACEDA, E.A. (2008b), Catastrophes dites "naturelles" et développement - Réflexions sur l'origine des désastres aux Philippines. *Revue Tiers Monde*, vol. 194, pp. 1-20.

GAILLARD, J.-C. et MACEDA, E.A. (2009), Participatory 3-dimensional mapping for disaster risk reduction. *Participatory learning and action*, vol. 60, pp. 109-118.

GAILLARD, J.-C., MACEDA, E.A., STASIAK, E., LE MASSON, V., LE BERRE, I. et ESPALDON, M.V.O. (2008c),Vulnérabilité face aux aléas naturels littoraux et accès aux ressources : perspectives philippines, *Le littoral : subir, dire, agir*, 16-19/01/2008, Lille, France.

GAILLARD, J.-C. et PANGILINAN, M.L.C.J.D. (2010), Participatory mapping for raising disaster risk awareness among the youth. *Journal of Contingencies and Crisis Management,*, vol. 18, n°3, pp. 175-179.

GAILLARD, J.-C., WISNER, B., BENOUAR, D., CANNON, T., CRETON-CAZANAVE, L., DEKENS, J., FORDHAM, M., GILBERT, C., HEWITT, K., KELMAN, I., LAVELL, A., MORIN, J., N'DIAYE, A., O'KEEFE, P., OLIVER-SMITH, A., QUESADA, C., REVET, S., SUDMEIER-RIEUX, K., TEXIER, P. et VALLETTE, C. (2010a), Alternatives pour une réduction durable des risques de catastrophe. *Human Geography*, vol. 3, n°1, pp. 66-88.

GAILLARD, J., CADAG, J.R.D., DE BELIZAL, E., LAVIGNE, F., MORIN, J. et TROUVE, M. (2010b),Hazard or resource? People's behaviour in the face of lahar onslaughts and implications for disaster risk reduction. , *Cities On Volcanoes 6*, 31 mai - 4 juin 2010, Puerto de la Cruz, Tenerife, Canaries, Espagne.

GAILLARD, J.C. et LEONE, F. (2000), Implications territoriales de l'éruption du Mont Pinatubo pour la minorité autochtone aeta. Cas des bassins-versants des rivières Pasig et Sacobia (provinces de Pampanga et Tarlac, Philippines). *Cahiers Savoisiens de Géographie*, n°1, pp. 53–68.

GAILLARD, J.C., MACEDA, E.A., STASIAK, E., BERRE, I. et ESPALDON, M.V.O. (2009), Sustainable livelihoods and people's vulnerability in the face of coastal hazards. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 13, n°2-3, pp. 119-129.

GAILLER, L.-S., LÉNAT, J.-F., LAMBERT, M., LEVIEUX, G., VILLENEUVE, N. et FROGER, J.-L. (2009), Gravity structure of Piton de la Fournaise volcano and inferred mass transfer during the 2007 crisis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 184, n°1-2, pp. 31-48.

GAMALEYA, B. (1983), *Le Volcan à l'envers ou Mme Desbassyns, le Diable et le Bondieu*. édité par C.D.N. PRESSE DE DÉVELOPPEMENT. Saint-Leu, La Réunion. 224 p. ISBN 978-2907064385.

GARNIER, E. et SURVILLE, F. (2010), *La tempête Xynthia face à l'histoire ; submersions et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Âge à nos jours*. Saintes, France: Le Croît Vif. 176 p.

GAULTIER-GAILLARD, S., PERSIN, M. et VRAIE, B. (2012), *gestion de crise. Les exercices de simulation : de l'apprentissage à l'alerte.* édité par AFNOR. La Plaine Saint-Denis. 219 p.

GAVILANES-RUIZ, J.C., CUEVAS-MUÑIZ, A., VARLEY, N., GWYNNE, G., STEVENSON, J., SAUCEDO-GIRÓN, R., PÉREZ-PÉREZ, A., ABOUKHALIL, M. et CORTÉS-CORTÉS, A. (2009), Exploring the factors that influence the perception of risk: The case of Volcán de Colima, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 186, n°3-4, pp. 238-252.

GEIST, D. et GARCIA, M.O. (2000), Role of science and independent research during volcanic eruptions. *Bulletin of Volcanology*, vol. 62, pp. 59-61.

GÉRARD, Y. (2009), Etalement urbain et transformation de la structure urbaine de deux capitales insulaires : Moroni et Mutsamudu, archipel des Comores (océan Indien). *Les Cahiers d'Outre-Mer*, vol. 248, pp. 513-528.

GERBEAU, H. (2002), L'Océan Indien n'est pas l'Atlantique. La traite illégale à Bourbon au XIXe siècle. *Les classiques des sciences sociales*. pp. 1-49. Disponible en ligne: http://classiques.uqac.ca/contemporains/gerbeau_hubert/ocean_indien_pas_atlantique/ocean_indien_pas_atlantique.pdf.

GÉRENTE, A. (2001). *Les grandes éruptions du Piton de la Fournaise. Vol. II - 1998 : l'éruption du siècle* [film], 78 min., disponible sur http://www.alaingerente.com/dvd2.html.

GÉRENTE, A. (2012a). *Les grandes éruptions du Piton de la Fournaise. Le "volcan lontan" : Au temps des guides et des porteurs* [en ligne], disponible sur http://www.alaingerente.com/histoire2.html, consulté le 08/01/2012.

GÉRENTE, A. (2012b). *Les grandes éruptions du Piton de la Fournaise. Les éruptions de 1993 à 2004* [en ligne], disponible sur http://www.alaingerente.com/histoire5.html, consulté le 08/01/2012.

GERTISSER, R., CHARBONNIER, S.J., TROLL, V.R., KELLER, J., PREECE, K., CHADWICK, J.P., BARCLAY, J. et HERD, R.A. (2011), Merapi (Java, Indonesia): anatomy of a killer volcano. *Geology Today*, vol. 27, n°2, pp. 57-62.

GILBERT, C. (2000), *Le pouvoir en situation extrême: Catastrophes et politique*. Paris: L'Harmattan, Coll. Logiques politiques. 272 p. ISBN 2738413803.

GILBERT, C. (2002), *Risques collectifs et situations de crise. Apports de la recherche en sciences humaines et sociales*. Paris: L'Harmattan, Coll. Risques collectifs et situations de crise. 340 p.

GILBERT, C. (2005), L'analyse des crises : entre normalisation et évitement. In O. BORRAZ, C. GILBERT et P.B. JOLY. *Risques, crises et incertitudes : pour une analyse critique.* Grenoble: Cahiers du GIS Risques Collectifs et Situations de Crise, n°3, CNRS-Publications de la MSH-Alpes, pp. 175-223.

GILBERT, C. (2011), Risques et crises endogènes: une approche toujours problématique. *RISEO - Les sciences juridiques à l'épreuve des catastrophes et des accidents collectifs. Retour sur 15 ans d'expérience, d'expertise et de réflexions*, vol. 3, pp. 3-39.

GILLOT, P.Y. et NATIVEL, P. (1989), Eruptive history of the Piton de la Fournaise volcano, reunion island, Indian Odean. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 36, pp. 53-65.

GIPPS, P.G. et MARKSJÖ, B. (1985), A Micro-Simulation Model for Pedestrian Flows. *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 27, n°2, pp. 95-105.

GLATRON, S. (2009), *Représentations cognitives et spatiales des risques et des nuisances pour les citadins*. Geographie, Université de Strasbourg, H.D.R., 200 p.

GLEYZE, J.-F. (2005), *La vulnérabilité structurelle des réseaux de transport dans un contexte de risques*. Géographie, Université Paris 7, Paris, Dr.sous la direction de C. GRASLAND. Soutenance 22/09/2005, 540 p.

GLOBAL VOLCANISM PROGRAM (2005). *Karthala* [en ligne], Base de données disponible sur http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=0303-01=&volpage=var, document datant du 15/02/2008.

GOSLINE, W.A., BROCK, V.E., MOORE, H.L. et YAMAGUCHI, Y. (1954), Fishes Killed by the 1950 Eruption of Mauna Loa: I. The Origin and Nature of the Collections. *Pacific Science*, vol. 8, n°1, pp. 23-27.

GOUHIER, M. et COPPOLA, D. (2011), Satellite-based evidence for a large hydrothermal system at Piton de la Fournaise volcano (Reunion

Island). *Geophys. Res. Lett.*, vol. 38, n°L02302.

GOURNAY, S. et AUDOIN, L. (2010), La technologie au service de l'entraînement de la gestion de crise. *RiskAssur - hebdo*, n°161, pp. 14-16.

GREENE, M.R., PERRY, R. et LINDELL, M. (1981), The March 1980 Eruptions of Mt. St. Helens: Citizen Information and Threat Perception. *Disasters*, vol. 5, pp. 49-66.

GREGG, C., HOUGHTON, B., PATON, D., SWANSON, D., LACHMAN, R. et BONK, W. (2008), Hawaiian cultural influences on support for lava flow hazard mitigation measures during the January 1960 eruption of Kīlauea volcano, Kapoho, Hawai'i. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 300-307.

GRELOU, G. (1963), Asie. *Annales de Géographie*, vol. 72, n°393, pp. 625-626.

GRIOT, C. (2007), Vulnérabilité et transport de matières dangereuses : une méthode d'aide à la décision issue de l'expertise de la Sécurité Civile. *Cybergeo : European Journal of Geography*, n°361.

GUÉBOURG, J.-L. (1995), *Espace et pouvoirs en Grande Comore*. Paris, France: L'Harmattan. 591 p.

GUIDOBONI, E. et BOSCHI, E. (2006), Vesuvius Before the 1631 Eruption. *Eos*, vol. 87, n°4, pp. 417-423.

HALBWACHS, M., SABROUX, J.-C., GRANGEON, J., KAYSER, G., TOCHON-DANGUY, J.-C., FELIX, A., BEARD, J.-C., VILLEVIEILLE, A., VITTER, G., RICHON, P., WÜEST, A. et HELL, J. (2004), Degassing the "Killer Lakes" Nyos and Monoun, Cameroon. *Eos Trans. AGU*, vol. 85, n°30.

HARDS, V. (2009), Shaken, but not stirred. The 2004 Eruption of the Tristan da Cunha Volcano. *SHIMA : The International Journal of Research into Island Cultures*, vol. 3, n°1, pp. 16-32.

HARTNADY, C. (2005a),Continental slope landslide- and oceanic island volcano-related tsunami potential in the Western Indian Ocean, *Terra Nova - East African Rift*, 2005, Mbeya, Tanzania.

HARTNADY, C. (2005b), De la possibilité d'apparition de tsunamis sur la côte est-africaine et les îles de l'Océan indien. *La prévention des catastrophes en Afrique SIPC Informations*, n°5 juillet 2005, pp. 27-30.

HATUBOU, S. (2004a), Aux origines du monde. In *Contes et légendes des Comores : ou génèse d'un pays bantu.* Paris, France: Flies France.

HATUBOU, S. (2004b), *A feu doux*. F. Truffaut, Coll. Saveurs de la réalité. 144 p. ISBN 2951661436.

HAYNES, K., BARCLAY, J. et PIDGEON, N. (2008), Whose reality counts? Factors affecting the perception of volcanic risk. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 259-272.

HAYNES, K., KELMAN, I. et MITCHELL, J.K. (2005), Early participatory intervention for catastrophe to reduce island vulnerability (EPIC). *International Journal of Island Affairs*, vol. 14, n°2, pp. 56-59.

HCCI (2006). *Les relations entre les ONG et la recherche. Avis du Haut Conseil adopté à l'assemblée plénière le 14 décembre 2005* [en ligne], disponible sur http://www.hcci.gouv.fr/travail/avis/ong_recherche.html (page supprimée suite à la dissolution du HCCI en 2008), consulté le 12/01/2006.

HEIJMANS, A. et VICTORIA, L.P. (2001), *Citizenry-based and development oriented disaster response: experiences and practices in disaster management of the Citizen's Disaster Response Network in the Philippines*. Asian Disaster Preparedness Center, 118 p.

HELBING, D., FARKAS, I. et VICSEK, T. (2000), Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*, vol. 407, n°6803, pp. 487-490.

HELBING, D. et MOLNÁR, P. (1995), Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, vol. 51, n°5, pp. 4282.

HEWITT, K. (1983), The idea of calamity in a technocratic age. In *Interpretations of calamity from the viewpoint of human ecology.* Boston: Allen & Unwin Inc., pp. 3-32.

HORWELL, C.J. et BAXTER, P.J. (2006), The respiratory health hazards of volcanic ash : a review for volcanic risk mitigation. *English*, pp. 1-24.

HORWELL, C.J., SPARKS, R.S.J., BREWER, T.S., LLEWELLIN, E.W. et WILLIAMSON, B.J. (2003), Characterization of respirable volcanic ash from the Soufrière Hills volcano, Montserrat, with implications for human health hazards. *Bulletin of Volcanology*, vol. 65, n°5, pp. 346-362.

INSEE (1999). *Résultats du recensement de la population 1999* [en ligne], Base de données disponible sur http://www.recensement-1999.insee.fr/.

INSEE (2009). *Tableau économique de La Réunion 2008-2009 - Conditions de vie - Société - Loisirs - Médias* [en ligne], Base de données disponible sur http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=24&ref_id=13985.

INSEE (2011). *Recensement de la population 2008 – Limites territoriales au 1er janvier 2010* [en ligne], Base de données disponible sur http://www.insee.fr/fr/regions/reunion/default.asp?page=faitsetchiffres/faitsetchiffres.htm.

IRONS, L. (2005), Hurricane Katrina as a Predictable Surprise. In *Homeland Security Affairs.* vol. 1 p.

IRSN (2012), *Fukushima 1 an après : Premières analyses de l'accident et de ses conséquences*. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nuclaire, n°IRSN/DG/2012-001, 189 p.

IRSN, AFSSA, INERIS, INVS, INRA, ADEME et IFEN (2006), *Experts et grand public : quelles perceptions face au risque ? Rapport final du contrat de recherche intitulé "Perplex : Etude comparative de la perception des risques par le public et les experts " du programme "Environnement et santé" de l'AFSSET. Rapport IRSN/DSDRE/DOS n°10*. IRSN, n°IRSN/DSDRE/DOS, 176 p.

ISDR (2009), *Global Assessment Report: Risk and Poverty in a Changing Climate - Mortality Risk Index*. UN, 2 p.

JACQUARD, F. (2008), *Quantification de phénomènes brutaux en milieu insulaire volcanique, cas de deux contextes différents : le transport solide et les déformations des surfaces volcaniques*. CREGUR, Université de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, Master 1. 112 p.

JÉRÉMIE, J.-J., ETNA, M. et GRUGEAUX, M.-F. (1998), *Montserrat : deux ans d'éruption et des poussières...* Baie-Mahault, Guadeloupe: Association pour la Prévention et l'Etude des Risques. 181 p.

JOHANNESDOTTIR, G. et GISLADOTTIR, G. (2010), People living under threat of volcanic hazard in southern Iceland: vulnerability and risk perception. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 10, pp. 407-420.

JOHNSTON, D. et RONAN, K. (2000), Risk Education and Intervention. In H. SIGURDSSON. *Encyclopedia of Volcanoes.* San Diego, California, USA: Academic Press, pp. 1229-1240.

JONES, L., BERNKNOPF, R., COX, D., GOLTZ, J., HUDNUT, K., MILETI, D., PERRY, S., PONTI, D., PORTER, K., REICHLE, M., SELIGSON, H., SHOAF, K., TREIMAN, J. et WEIN, A. (2008), *The ShakeOut Scenario*. USGS, 312 p.

KATES, R.W. (1971), Natural Hazard in Human Ecological Perspective : Hypotheses and Models. *Economic Geography*, vol. 47, n°3, pp. 438-451.

KELFOUN, K., GIACHETTI, T. et LABAZUY, P. (2010), Landslide-generated tsunamis at Réunion Island. *Journal of Geophysical Research*, vol. 115, n°F4, pp. 1-17.

KELMAN, I. (2008), Myths of Hurricane Katrina. *Disaster Advances*, vol. 1, n°1, pp. 1-7.

KELMAN, I. et LEWIS, J. (2005), Ecology and vulnerability: islands and sustainable risk management. *International Journal of Island Affairs*, vol. 14, n°2, pp. 4-12.

KELMAN, I. et MATHER, T.A. (2008), Living with volcanoes: The sustainable livelihoods approach for volcano-related opportunities. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 189-198.

KERT, C. (1999), *Rapport sur les techniques de prévision des risques naturels en France*. Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, Assemblée Nationale, Sénat, vol. 5, n°1540, 125 p.

KES (2005), SOGEA : une implantation litigieuse. *Kashkazi* du 15/09/2005. Numéro 7.

KES (2006), Le sable volcanique est-il un produit dangereux? *Kashkazi* du 09/03/2006. Numéro 31.

KIEFFER, G., TRICOT, B., VINCENT, P.M. et ORCEL, J. (1977 ), Une éruption inhabituelle (avril 1977) du Piton de la Fournaise (île de La Réunion) : ses enseignements volcanologiques et structuraux. *C.R. Acad. Sc.*, vol. 285, pp. 957-960.

KLING, G.W., EVANS, W.C., TANYILEKE, G., KUSAKABE, M., OHBA, T., YOSHIDA, Y. et HELL, J.V. (2005), Degassing Lakes Nyos and Monoun: Defusing certain disaster. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 102, n°40, pp. 14185-14190.

KOMOROWSKI, J.-C., BOUDON, G., SEMET, M., BEAUDUCEL, F., ANTÉNOR-HABAZAC, C., BAZIN, S. et HAMMOUYA, G. (2005), Guadeloupe. In J.A.N.M. LINDSAY, R.E.A. ROBERTSON, J.B. SHEPHERD et S. ALI. *Volcanic Hazard Atlas of The Lesser Antilles.* Seismic Research Centre - University of The West Indies, pp. 65-102.

KRAFFT, M. (1982), L'éruption volcanique du Karthala : avril 1977 (Grande Comore, océan Indien). *Comptes Rendus De L'Academie Des Sciences de Paris*, vol. 294, pp. 753-758.

KRAFFT, M. (1983), Guide des volcans de la Grande Comore [non publié]. 94 p.

KRAFFT, M. et DE SAINT-OURS, P. (1977), Summary of first flank activity since 1800. *SEAN 02:04*. Disponible en ligne: http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=0303-02=&volpage=var#sean_0204.

KUNREUTHER, H. et PAULY, M. (2004), Neglecting Disaster: Why Don't People Insure Against Large Losses ? *Journal of Risk and Uncertainty*, vol. 28, n°1, pp. 5.-21.

LACROIX, A. (1904), *La Montagne Pelée et ses éruptions*. Paris: Masson et Cie. 662 p.

LACROIX, A. (1920), Une éruption du volcan Karthala, à la Grande Comore, en août 1918. *Comptes Rendus des Séances de l'Academie des Sciences*, vol. 171, pp. 5-10.

LACROIX, A. (1925), Succession des éruptions et Bibliographie du Volcan actif de la Réunion. *Bulletin Volcanologique*, vol. 1, n°3, pp. 20-56.

LACROIX, A. (1936), *Le volcan actif de l'île de la Réunion et ses Produits*. Paris, France: Gauthier-Villars. 297 p.

LAGADEC, P. (1991), *La gestion des crises. Outils de réflexion à l'usage des décideurs*. McGraw-Hill. 300 p.

LAGADEC, P. (1992), Le retour d'expérience, de l'analyse des risques à l'analyse des crises. *Préventique*, vol. 44, n°mars-avril, pp. 14-21.

LAGADEC, P. (2002), La recherche confrontée à la question des crises. In C. GILBERT. *Risques collectifs et situations de crise. Apports de la recherche en sciences humaines et sociales.* Paris: L'Harmattan, Coll. Risques collectifs et situations de crise, pp. 297-316.

LAGADEC, P. (2007a), Katrina : Examen des rapports d'enquête - Tome 1: "A Failure of Initiative", US House of Representative. *Cahiers du Laboratoire d'Econométrie*, vol. 7, pp. 1-140.

LAGADEC, P. (2007b), Katrina : Examen des rapports d'enquête" - Tome 2 : "The Federal Response to Hurricane Katrina "Lessons Learned", The White House, 2006". *Cahiers du Laboratoire d'Econométrie*, vol. 11, pp. 1-156.

LAGADEC, P. et GUILHOU, X. (2002), Les conditions de survenue des crises graves. In R. AMALBERTI, C. FUCHS et C. GILBERT. *Conditions et mécanismes de production des défaillances, accidents et crises.* Grenoble, France: CNRS - Maison des Sciences de l'Homme-Alpes, pp. 157-2010.

LAVIGNE, F., A., S., DURAND, P., COQUET, M., WASSMER, P., GOETT, H., LEONE, F., PÉROCHE, M., LAGAHÉ, E., GHERARDI, M., VINET, F., HACHIM, S., DROUET, F., QUENTEL, E., LOEVENBRUCK, A., SCHINDELÉ, F., HÉBERT, H., ANSELME, B., GAULTIER-GAILLARD, S., PRATLONG, F., DIVIALLE, F. et MORIN, J. (2012), *PREPARTOI : Prévention et REcherche Pour l'Atténuation du Risque Tsunami dans l'Océan Indien (La Réunion et Mayotte) - Rapport Final*. Labora&toire de Géographie Physique, UMR 8591, 256 p.

LAVIGNE, F. et DE BÉLIZAL, E. (2010), Les effets géographiques des éruptions volcaniques. *EchoGéo*. vol. Sur le vif 2010. Disponible en ligne: http://echogeo.revues.org/12226.

LAVIGNE, F., DECOSTER, B., JUVIN, N., FLOHIC, F., GAILLARD, J., TEXIER, P., MORIN, J. et SARTOHADI, J. (2008), People's behaviour in the face of volcanic hazards: Perspectives from Javanese communities, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 273-287.

LAVIGNE, F., THOURET, J.-C., VOIGHT, B., SUWA, H. et SUMARYONO, A. (2000a), Lahars at Merapi volcano, Central Java: an overview. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 100, pp. 423-456.

LAVIGNE, F., THOURET, J.-C., VOIGHT, B., YOUNG, K., LAHUSEN, R., MARSO, J., SUWA, H., SUMARYONO, A., SAYUDI, D.S. et DEJEAN, M. (2000b), Instrumental lahar monitoring at Merapi Volcano, Central Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 100, pp. 452-478.

LE MASSON, V. et KELMAN, I. (2010), Disaster risk reduction on non-sovereign islands: La Réunion and Mayotte, France. *Natural Hazards*, vol. 56, n°1, pp. 251-273.

LEBRUN, T. (2010), *L'éruption de la Soufrière de la Guadeloupe en 1976 - Retour d'expérience des vulnérabilités et des conséquences*. Géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Master 1sous la direction de F. LÉONE et F. LAVIGNE. Soutenance 06/2010, 127 p.

LÉNAT, J.-F. (2003), Les volcans boucliers. *Eruption*, vol. 3, pp. 32-43.

LÉNAT, J.-F. et BACHÈLERY, P. (1990), Structure et fonctionnement de la zone centrale du Piton de la Fournaise. In J.-F. LÉNAT. *Le volcanisme de la Réunion.* Clermont-Ferrand, pp. 257-296.

LÉNAT, J.-F., GIBERT-MALENGREAU, B. et GALDÉANO, A. (2001), A new structural model for the evolution of the volcanic island of Réunion (Indian Ocean). *Journal of Geophysical Research*, vol. 106, n°B5, pp. 8645-8663.

LEONARD, G.S., JOHNSTON, D.M., PATON, D., CHRISTIANSON, A., BECKER, J. et KEYS, H. (2008), Developing effective warning systems: Ongoing research at Ruapehu volcano, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 199-215.

LEONE, F. (1995), *Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvement de terrain*. Thèse de Doctorat de Géographie, BRGM, Université Joseph Fourrier de Grenoble, Orléans, France, PhD. 274 p.

LEONE, F. (2002), Implications territoriales et socio- économiques des menaces naturelles en Martinique (Antilles françaises) : une approche spatiale assistée par SIG. *Annales de Géographie*, vol. 627-628, pp. 549-573.

LEONE, F. (2007), *Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque*. Mémoire d'HDR, Université Montpellier III, Montpellier, France. 244 p.

LEONE, F., BAPTISTA, M.A., ZOURARAH, B., MEHDI, K., LAVIGNE, F., MESCHINET DE RICHEMOND, N., OMIRA, R., MELLAS, S., PÉROCHE, M., LAGAHÉ, E., HEYMANN, A., GHERARDI, M., GRANCHER, D., CHEREL, J.P., SAHAL, A., DENAIN, J.C., MEUNIER, N. et D., I. (2012), *Evaluation des vulnérabilités territoriales et humaines face aux tsunamis au Maroc (façade atlantique et ville d'El Jadida) : données historiques, modélisation de l'aléa et des enjeux humains, critères de vulnérabilité, indicateurs de risque, aide à la gestion des évacuations - Rapport MAREMOTI*. UMR GRED / Université Montpellier 3 & IRD, 190 p.

LEONE, F., DEYMIER, J., JOMELLI, V., CHAPELON, L., BOUHET, O., COLAS, A., VINET, F. et CHEREL, J.P. (2011), *Vulnérabilités des réseaux routiers face aux debris flows dans les Alpes. Quantification des risques et modélisation de l'accessibilité territoriale. Partie 1 : Approche régionale. Vulnérabilités des réseaux routiers et dégradation de l'accessibilité territoriale (Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Savoie), Partie 2 : Approche locale. Diagnostic intégré du risque torrentiel et accessibilité routière des secours sur cinq bassins-versants. Moyenne vallée de l'Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence); Rapport WP6, Projet ANR SCAMPEI (Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes)*. UMR GRED (ex. EA GESTER), Université Montpellier 3, 135 p.

LEONE, F. et GAILLARD, J.-C. (1999), Analysis of the institutional and social responses to the eruption and the lahars of Mount Pinatubo volcano from 1991 to 1998 (Central Luzon, Philippines). *GeoJournal*, vol. 49, pp. 223-238.

LEONE, F. et LESALES, T. (2009), The interest of cartography for a better perception and management of volcanic risk: From scientific to social representations - The case of Mt. Pelée volcano, Martinique (Lesser Antilles). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 186, pp. 186-194.

LEONE, F., RICHEMOND, N. et VINET, F. (2010), *Aléas naturels et gestion des risques* Paris, France: PUF. 288 p. ISBN 978-2-13-057432-3.

LEONE, F. et VINET, F. (2006), La vulnérabilité, un concept fondamental au coeur des méthodes d'évaluation des risques naturels. In F. LEONE et F. VINET. *Analyses géographiques - Géorisques.* Montpellier, France: Publications de l'Université Paul-Valéry-Montpellier 3, vol. 1, pp. 9-25.

LEPOINTE, E. (1999), Le Réveil du volcan La Soufrière en 1976 - La population guadeloupéenne à l'épreuve du danger. In A. YACOU. *Les catastrophes naturelles aux Antilles : d'une Soufrière à l'autre.* Paris, pp. 15-71.

LESALES, T. (1994), *La gestion des crises éruptives de la Montagne Pelée : 1792, 1851-52, 1902-1905, 1929-1932 : Quelles leçons pour demain ? - Rapport de stage*. BRGM Martinique, 38 p.

LESALES, T. (1996), *Une petite île des Antilles face à une crise volcanique sans précédent - Rapport de mission à Montserrat (British West-Indies)*. CIFEG, 50 p.

LETCHIMY, S. (2011), *Examen de la proposition de loi portant dispositions particulières à l'habitat informel et à la lutte contre l'habitat indigne dans les départements et régions d'outre mer (n°3043)*. Assemblée Nationale, vol. 34, 28 p.

LEVIEUX, G., FINIZOLA, A., ARNAUD, J., AVARD, G., BENBAKKAR, M., BENNATI, L., CHÁVEZ, J.A., CLUZEL, N., CRUZ, V., FOURNIER, N., GONZALES, K., LACARIN, M., LLERENA, P., MACEDO, O., MOREAU, M., MORIN, J., NAVE, A., NAVE, R., PAQUEREAU, P., SCHOLL, P.-G., TACO, J., TAIPE, E., THOURET, J.-C. et ZEZENARRO, W. (2006),Expériences en matière d'information, de sensibilisation et d'éducation des populations : Le cas du volcan Misti au Sud Pérou, *La Réunion face aux risques naturels*, 17-18/09/2006, Saint-Denis de La Réunion, France.

LEWIS, H.E., ROBERTS, D.F. et EDWARDS, A.W.F. (1972), Biological Problems, and Opportunities, of Isolation among the Islanders of Tristan da Cunha. In D.V. GLASS et R. REVELLE. *Population and Social Change.* London, pp. 383-417.

LEWIS, J. (2009), An island characteristic. Derivative vulnerabilities to indigenous and exogenous hazards. *SHIMA : The International Journal of Research into Island Cultures*, vol. 3, n°1, pp. 3-15.

LINDSAY, J., MARZOCCHI, W., JOLLY, G., CONSTANTINESCU, R., SELVA, J. et SANDRI, L. (2009), Towards real-time eruption forecasting in the Auckland Volcanic Field: application of BET_EF during the New Zealand National Disaster Exercise 'Ruaumoko'. *Bulletin of Volcanology*, vol. 72, n°2, pp. 185-204.

LOCKWOOD, J.P. et ROMANO, R. (1985), Diversion of lava during the 1983 eruption of Mount Etna. *Earthquake Information Bulletin*, vol. 17, pp. 124-133.

LÖHNER, R. (2010), On the modeling of pedestrian motion. *Applied Mathematical Modelling*, vol. 34, pp. 366-382.

LONGPRÉ, M.-A., STAUDACHER, T. et STIX, J. (2006), The November 2002 eruption at Piton de la Fournaise volcano, La Réunion Island: ground deformation, seismicity, and pit crater collapse. *Bulletin of Volcanology*, vol. 69, n°5, pp. 511-525.

LUND, K.A. et BENEDIKTSSON, K. (2011), Inhabiting a risky earth: The Eyjafjallajökull eruption in 2010 and its impacts. *Anthropology Today*, vol. 27, n°1, pp. 6-9.

LYTWYN, J.N. et BURKE, K. (1995), Short hectic life, sudden death and burial of the Deccan Trap Source Mantle Plume (DTSMP). *American Geophysical Union Abstracts and Program*, vol. 76, pp. F571.

MACEDA, E.A., GAILLARD, J.-C., STASIAK, E. et LE MASSON, V. (2009), Experimental Use of Participatory 3-Dimensional Models in Island Community-Based Disaster Risk Management. *SHIMA : The International Journal of Research into Island Cultures*, vol. 3, n°1, pp. 72-84.

MAEE (2007). *Présentation de l'Union des Comores, données générales* [en ligne], disponible sur http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/pays-zones-geo_833/comores_403/presentation-union-comores_1344/donnees-generales_1893.html, consulté le 15/12/2007.

MAIRINE, P. (2006), *Itinéraire géologique : la route du volcan, découverte de la Fournaise ancienne*. Saint-Joseph, La Réunion: Académie de La Réunion, SEML Réunion Muséo - Maison du Volcan, Laboratoire des Sciences de la Terre et de l'Univers, Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise. 96 p.

MAIRINE, P. et CROZET, P. (in prep.), *Cartographie de l'aléa coulées de lave et recouvrement par des coulées sur le Massif de la Fournaise - Version 2009* [Document cartographique].

MAIRINE, P., PAYET, I., HUET, P. et HOARAU, P. (2010), *Le Piton de la Fournaise de la contemplation à la compréhension*. édité par M.D. VOLCAN. 56 p.

MALENGREAU, B., LÉNAT, J.-F. et FROGER, J.-L. (1999), Structure of Reunion island (Indian Ocean) inferred from the interpretation of gravity anomalies. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 88, pp. 131-146.

MARTEL-ASSELIN, F. (2010), Volcan - gestion de l'accès 1998-2010. In U. WORK. 1-16 p.

MARZOCCHI, W., SANDRI, L. et SELVA, J. (2006), Probability estimation at the nodes: general aspects, Appendix A to BET_EF, pp. 1-20.

MARZOCCHI, W., SANDRI, L. et SELVA, J. (2008), BET_EF: a probabilistic tool for long- and short-term eruption forecasting. *Bulletin of Volcanology*, vol. 70, pp. 623-632.

MARZOCCHI, W., SANDRI, L. et SELVA, J. (2010), BET_VH: a probabilistic tool for long-term volcanic hazard assessment. *Bulletin of Volcanology*, vol. 72, n°6, pp. 705-716.

MAS, M. (2012), *Analyse des déterminants de la vulnérabilité humaine face au risque volcanique en milieux insulaires - Etude comparative Réunion, Martinique et Guadeloupe.* Thèse de Doctorat, Geographie, Université Montpellier III, Montpellier, France, sous la direction de F. LEONE. in press p.

MAS, M. et LEONE, F. (2009), Représentations mentales du risque volcanique au sein de populations insulaires menacées : le cas des îles de La Réunion et de la Guadeloupe. In D. BERTRAND, L. RIEUTORT et J.-C. THOURET. *Villes et Volcans.* Clermont-Ferrand, France: Presses Universitaires Blaise Pascal, pp. 97-122.

MASKREY, A. (1989), *Disaster mitigation: a community based approach*. Oxford, UK: Oxfam. 100 p. ISBN 0855981229 / 0855981237.

MATITI-PICARD, M.-J. (2005), Le Volcan comme lieu d'appréhension de l'histoire de l'île. Une approche du Volcan à l'envers de Boris Gamaleya. In *Magma Mater, L'imaginaire du volcan dans l'océan Indien.* Paris, pp. 179-191.

MCCOSKER, J.E. et SMITH, D.G. (1997), Two New Indo-Pacific Morays of the Genus Uropterygius (Anguilliformes: Muraenidae). *Bulletin of Marine Science*, vol. 60, n°3, pp. 1005-1014.

MCGUIRE, W.J., SOLANA, M.C., KILBURN, C.R.J. et SANDERSON, D. (2009), Improving communication during volcanic crises on small, vulnerable islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 183, n°1-2, pp. 63-75.

MEDDTL (2010). *Le Plan Séisme, un programme national de prévention du risque sismique* [en ligne], disponible sur http://www.planseisme.fr/Zonage-sismique-de-la-France.html.

MEDE (2011). *Risques naturels - La Réunion : prévenir* [en ligne], disponible sur http://www.legrenelle-environnement.fr/RISQUES-NATURELS-La-Reunion.html, document datant du 19/07/2011.

MEEDM (2007), *Les événements naturels dommageables en France et dans le monde en 2007*. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 45 p.

MEI, E.T.W. et LAVIGNE, F. (2012), Influence of the institutional and socio-economic context for responding to disasters: case study of the 1994 and 2006 eruptions of the Merapi Volcano, Indonesia. *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 361, n°1, pp. 171-186.

MEI, E.T.W. et LAVIGNE, F. (in press), Mass Evacuation of the 2010 Merapi Eruption. *The International Journal of Emergency Management*.

MEITINGER, S. (2005), Boris Gamaleya sous le volcan où il n'y a pas d'Enfer. In *Magma Mater, L'imaginaire du volcan dans l'océan Indien.* Paris, pp. 167-178.

MERLE, O. et LÉNAT, J.-F. (2003a), Hybrid collapse mechanism at Piton de la Fournaise (Reunion Island, Indian Ocean). *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, pp. 2166-2176.

MERLE, O. et LÉNAT, J.-F. (2003b), Hybrid collapse mechanism at Piton de la Fournaise volcano, Reunion Island, Indian Ocean. *J. Geophys. Res.*, vol. 108 n°B3, pp. 2166.

MERLE, O., MAIRINE, P., MICHON, L., BACHÈLERY, P. et SMIETANA, M. (2010a), Calderas, landslides and paleo-canyons on Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island, Indian Ocean). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 189, n°1-2, pp. 131-142.

MERLE, O., MAIRINE, P., MICHON, L., BACHÈLERY, P. et SMIETANA, M. (2010b), Calderas, landslides and paleo-canyons on Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island, Indian Ocean). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 189, pp. 131-142.

MÉTÉO MORONI (2010), Base de données sur la pluviométrie et les températures en Grande Comore. M. MORONI. Moroni, Comores: Météo Moroni.

METZGER, P. (2009), L'épidémie de chikungunya, un problème de moustique ? In C. GILBERT et E. HENRY. *Comment se construisent les problèmes de santé publique.* Ed. La Découverte, Coll. Recherches, pp. 175-194.

METZGER, P., D'ERCOLE, R. et SIERRA, A. (1999), Political and scientific uncertainties in volcanic risk management : The yellow alert in Quito in October 1998. *GeoJournal*, vol. 49, pp. 213-221.

MIAT (2006a), *Guide méthodologique - La conduite du retour d'expérience, éléments techniques et opérationnels*. Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire - Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles - Sous-Direction de la Gestion des Risques - Bureau de l'Analyse et de la Préparation aux Crises 120 p.

MIAT (2006b), *La conduite du retour d'expérience - Eléments de culture professionnelle*. Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire - Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles - Sous-Direction de la Gestion des Risques - Bureau de l'Analyse et de la Préparation aux Crises 21 p.

MIAVITA (in press), *Handbook for Volcanic Risk Management - Prevention, crisis management, resilience.* BRGM, p.

MICHAUD, J., KRUPITSKY, D., JS., G. et ANDERSON, B. (2005), Volcano related atmospheric toxicants in Hilo and Hawaii Volcanoes National Park: implications for human health. *Neurotoxicology*, vol. 26, pp. 555-563.

MICHON, L. et SAINT-ANGE, F. (2008), Morphology of Piton de la Fournaise basaltic shield volcano (La Réunion Island): Characterization and implication in the volcano evolutionvol. 113, pp. B03203.

MICHON, L., STAUDACHER, T., FERRAZZINI, V., BACHÈLERY, P. et MARTI, J. (2007), April 2007 collapse of Piton de la Fournaise: A new example of caldera formation. *Geophysical Research Letters*, vol. 34, n°21, pp. 1-6.

MICHON, L., VILLENEUVE, N., CATRY, T. et MERLE, O. (2009), How summit calderas collapse on basaltic volcanoes: New insights from the April 2007 caldera collapse of Piton de la Fournaise volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 184, n°1-2, pp. 138-151.

MILETI, D.S. (1995),Factors related to flood warning response, *U.S. Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts and Management of Extreme Floods*, Perugia, Italy.

MILLER, T.P. et CASADEVALL, T.J. (2000), Volcanic Ash Hazards to Aviation. In H. SIGURDSSON. *Encyclopedia of Volcanoes.* San Diego, California, USA: Academic Press, pp. 915-930.

MINCIARDI, R., SACILE, R., TARAMASSO, A.C., TRASFORINI, E. et TRAVERSO, S. (2006), Modeling the vulnerability of complex territorial systems: An application to hydrological risk. *Environmental Modelling Software*, vol. 21, n°7, pp. 949-960.

MITCHELL, J.K. (2006), The Primacy of Partnership: Scoping a New National Disaster Recovery Policy. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, vol. 604, n°1, pp. 228-255.

MORIN, E. (1976), Pour une crisologie. *Communications*, vol. 25, pp. 149-173.

MORIN, J. (2006), *Evaluation du risque volcanique en Grande Comore. Caractérisation des aléas, étude de perception, analyse du système de gestion*. Mémoire de Master Pro GCRN, Université Paul Valéry Montpellier III, Montpellier, France, sous la direction de N. VILLENEUVE, A. FINIZOLA, F. LEONE et F. VINET. 116 p.

MORIN, J. (2007), Dzaha Karthala et les Comoriens. *Eruption*, n°16, pp. 40-43.

MORIN, J. (2008),Gestion des crises volcaniques et vulnérabilité des populations en Grande Comore, *Colloque international sur le Karthala « Maîtrise et Valorisation »*, 19-20-21/11/2008, Moroni, Union des Comores.

MORIN, J. (2009), Grande Comore - Gestion des crises volcaniques et vulnérabilité des populations. Apprendre à [sur]vivre avec le volcan. *Revue des Naturalistes de Mayotte*, vol. 12, pp. 36-41.

MORIN, J., DE COSTER, B., FLOHIC, F., LAVIGNE, F., LE FLOCH, D. et PARIS, R. (2011), L'éducation des populations : mesure essentielle pour la réduction du risque de tsunami en Indonésie. In F. LAVIGNE et R. PARIS. *Tsunarisque.* Paris, France: Publications de la Sorbonne, pp. 271-288.

MORIN, J., DE COSTER, B., PARIS, R., LAVIGNE, F., FLOHIC, F. et LE FLOCH, D. (2008), Tsunami-resilient communities' development in Indonesia through educative actions: Lessons from the 26 December 2004 tsunami. *Disaster Prevention and Management*, vol. 17, n°3, pp. 430-446.

MORIN, J. et GAILLARD, J.-C. (2012), Lahar hazard and livelihood strategies on the foot slopes of Mt Karthala volcano, Comoros. In B. WISNER, J.-C. GAILLARD et I. KELMAN. *Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction.* London & New York: Routledge, pp. 705-706.

MORIN, J., JACQUARD, F. et VILLENEUVE, N. (2010),Piton de la Fournaise, A Roped Off Volcano? Consequences of the 2007 "Eruption of the Century", *Cities On Volcanoes 6*, 31 mai - 4 juin 2010, Puerto de la Cruz, Tenerife, Canaries, Espagne.

MORIN, J. et LAVIGNE, F. (2009), Institutional and social responses to hazards related to Karthala volcano, Comoros - PART II : The deep-seated root causes of Comorian vulnerabilities. *SHIMA : The International Journal of Research into Island Cultures*, vol. 3, n°1, pp. 54-71.

MORIN, J., LAVIGNE, F., BACHÈLERY, P., FINIZOLA, A. et VILLENEUVE, N. (2009), Institutional and social responses to hazards related to Karthala volcano, Comoros - PART I : Analysis of the May 2006 eruptive crisis. *SHIMA : The International Journal of Research into Island Cultures*, vol. 3, n°1, pp. 33-53.

NASSOR, H. (2001), *Contribution à l'étude du risque volcanique sur les grands volcans boucliers basaltiques : le Karthala et le Piton de la Fournaise*. Thèse de Doctorat, LSTUR, Université de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France, sous la direction de P. BACHÈLERY. Soutenance 07/09/2001, 218 p.

NASSOR, H., MORIN, J., GOMEZ, C., SMIETANA, M. et SAUVESTRE, F. (2006), Seismic crisis on 28 May 2006 precedes lava lake eruption in Chahalé crater. *Bulletin of Global Volcanism Network*, vol. 31, n°7, pp. 9-10.

NCHRP (2009), *Transportation's Role in Emergency Evacuation and Reentry, A Synthesis of Highway Practice, National Cooperative Highway Research Program - NCHRP Synthesis 392*. Washington, D.C. 142 p.

NEUILLY, M.-T. (2008), Katrina, une catastrophe exemplaire. In *Gestion et prévention de crise en situation post-catastrophe.* Bruxelles: De Boeck, pp. 75-98.

NEWHALL, C., ARAMAKI, S., BARBERI, F., BLONG, R., CALVACHE, M., CHEMINEE, J.-L., PUNONGBAYAN, R.S., SIEBE, C., SIMKIN, T., SPARKS, S. et TJETJEP, W. (1999), Professional conduct of scientists during volcanic crises. *Bulletin of Volcanology*, vol. 60, pp. 323-334.

NEWHALL, C.G. (2000), Volcano Warnings. In H. SIGURDSSON. *Encyclopedia of Volcanoes.* San Diego, California, USA: Academic Press, pp. 1185-1197.

NEWHALL, C.G. et SELF, S. (1982), The volcanic explosivity index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research*, vol. 87, pp. 1231-1238.

NEWHALL, R.P. et HOBLITT, C.G. (2002), Constructing event trees for volcanic crises. *Bulletin of Volcanology*, vol. 64, pp. 3-20.

NOLAN, M.L. (1979), Impact of Parícutin on Five Communities. In P.D. SHEETS et D.K. GRAYSON. *Volcanic activity and Human Ecology.* New York: Academic Press, pp. 293-335.

NOUGIER, J., CANTAGREL, J.M. et KARCHE, J.P. (1986), The Comoros archipelago in the western Indian Ocean : volcanology, geochronology and geodynamic setting. *Journal of African Earth Sciences*, vol. 5, n°2, pp. 135-145.

NOVEMBER, V., DELALOYE, R. et PENELAS, M. (2007), Gérer et alerter. *Revue de géographie alpine*, vol. 95, n°2, pp. 73-83.

NRC (2006), *Facing Hazards and disasters, Understanding Human Dimensions, Committee on Disaster Research in the Social Sciences: Future Challenges and Opportunities*. National Research Council, 408 p.

O2P INGÉNIERIE (2009), *Appui à la démarche de territorialisation du Grenelle de l'Environnement, volet risques naturels outre-mer. Concertation et élaboration d'un programme d'actions*. DDE-DIREN, 29 p.

O'KEEFE, P., WESTGATE, K. et WISNER, B. (1976), Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature*, vol. 260, pp. 566-567.

OCHA-GVA (2005a). *Comoros: Karthala Volcanic Eruption OCHA Situation Report No. 1* [en ligne], disponible sur http://reliefweb.int/report/comoros/comoros-karthala-volcanic-eruption-ocha-situation-report-no-1, document datant du 18/04/2005.

OCHA-GVA (2005b). *Comoros: Karthala Volcano OCHA Situation Report No. 1* [en ligne], disponible sur http://reliefweb.int/report/comoros/comoros-karthala-volcanic-eruption-ocha-situation-report-no-1, document datant du 18/04/2005.

OCHA-GVA (2005c). *Comoros: Karthala Volcano OCHA Situation Report No. 2* [en ligne], disponible sur http://reliefweb.int/report/comoros/comoros-karthala-volcanic-eruption-ocha-situation-report-no-2, document datant du 21/04/2005.

OEHLER, J.-F., LÉNAT, J.-F. et LABAZUY, P. (2007), Growth and collapse of the Reunion Island volcanoes. *Bulletin of Volcanology*, vol. 70, n°6, pp. 717-742.

OKAZAKI, S. (1979), Study of Pedestrian Movement in Architectural Space, Part 1 : Pedestrian Movement by the Application of Magnetic Models. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)*, vol. 283, pp. 111-119.

OMI (2007). *The Sulfur Dioxide Group web page* [en ligne], disponible sur http://so2.umbc.edu/omi/pix/2007/piton/piton04.php, consulté le 12/11/2007.

ONF (2007a), *Massif de la Fournaise - Schéma d'Interprétation et de Valorisation Ecotouristique - Contribution à la mise en valeur des territoires réunionnais - Partie 1 : Analyse du territoire, objectifs et principes de la démarche*. ONF, vol. 1, 148 p.

ONF (2007b), *Massif de la Fournaise - Schéma d'Interprétation et de Valorisation Ecotouristique - Contribution à la mise en valeur des territoires réunionnais - Partie 2 : Mise en scène des territoires*. ONF, vol. 2, 381 p.

ORA (2008a), *Campagne de mesures du pH autour du Piton de la Fournaise sur les communes de Sainte-Rose et Saint-Philippe en avril-mai 2007*. n°DE044A, 4 p.

ORA (2008b), *Campagne de surveillance de la qualité de l'air à l'aide du laboratoire mobile à la Pointe du Tremblet sur la commune de Saint-Philippe*. n°DE034A, 3 p.

ORAISON, A. (2004), La mise en place des institutions de l '« Union des Comores » prévues par la Constitution du 23 décembre 2001. L'avènement d'un régime de type présidentiel et fédéral dans un état francophone du canal de Mozambique *Revue française de Droit Constitutionnel*, vol. 4, n°60, pp. 771-795.

OVK (2006), *Bulletin de l'Observatoire Volcanologique du Karthala - Mai 2006*. vol. 4, 1-9 p.

PAGNEUX, E. (2005), *Impacts socio-économiques des catastrophes naturelles - Un volcan sous la ville - L'éruption de 1973 sur l'île de Heimaey*. Mémoire de Master 1, Geographie, Université Montpellier 3, Montpellier, France, sous la direction de F. LEONE. 12 p.

PAPADIMITRIOU, E., YANNIS, G. et GOLIAS, J. (2009), A critical assessment of pedestrian behaviour models. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 12, pp. 242-255.

PATON, D., MILLAR, M. et JOHNSTON, D. (2001), Community Resilience to Volcanic Hazard Consequences. *Natural Hazards*, vol. 24, pp. 157-169.

PATON, D., SMITH, L., DALY, M. et JOHNSTON, D. (2008), Risk perception and volcanic hazard mitigation : Individual and social perspectives. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, pp. 179-188.

PAVLOVSKY, R. et SAINT-OURS, J. (1953), *Etude géologique de l'archipel des Comores.* Haut Commissariat de Madagascar et Dépendances, Direction des Mines et de la Géologie, Service Géologique Tananarive -, vol. Travaux du bureau géologique numéro 51, 55 p.

PAYET, G., MANOUVEL, C., PAYET, M., PELERIN, A., ROCHE, J.-L. et ROUSSEL, P. (2007), *Les Réunionnais et leur volcan - Mission victimologique éruption du Piton de la Fournaise Avril 2007*. édité par A.R.D.L.I.D. VICTIMOLOGIE. 147 p.

PEARSON, C. et MITROFF, I. (1993), From Crisis prone to crisis prepared : a framework for crisis management. *Academy of Management Executive*, vol. 7, pp. 48-59.

PELLING, M. et UITTO, J.I. (2001), Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change. *Environmental Hazards*, vol. 3, pp. 49-62.

PELTIER, A. (2007), *Suivi, modélisation et évolution des processus d'injections magmatiques au Piton de La Fournaise (Réunion) à partir d'une analyse croisée des données de déformation, géochimiques et structurales*. Thèse de Doctorat, Sciences de la Terre, Université de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion. 347 p.

PELTIER, A., BACHÈLERY, P. et STAUDACHER, T. (2009), Magma transport and storage at Piton de La Fournaise (La Réunion) between 1972 and 2007: A review of geophysical and geochemical data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 184, n°1-2, pp. 93-108.

PEREZ, N. (2010),The Role of Scientists, Journalists and Authorities during the 2004 Tenerife Volcanic Unrest: The Bigest Problem, *Cities on Volcanoes 6*, Puerto de la Cruz, Tenerife, Espagne.

PERKO, T. (2011), Importance of risk communication during and after a nuclear accident. *Integrated Environmental Assessment and Management*, vol. 7, n°3, pp. 388-392.

PERRY, R. et LINDELL, M. (2008), Volcanic risk perception and adjustment in a multi-hazard environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 170-178.

PERRY, R.W. et GREENE, M.R. (1983), *Citizen response to volcanic eruptions: the case of Mt. St. Helens*. New-York, USA: Irvington Publishers. 147 p.

PERRY, R.W., LINDELL, M.K. et GREENE, M.R. (1982), Threat Perception and Public Response to Volcano Hazard. *The Journal of Social Psychology*, vol. 116, pp. 199-204.

PÉTON-KLEIN, D. et CHAIZE, C. (2007), Chikungunya : Gestion d'une crise longue. *Gestions Hospitalières*, vol. 462, pp. 46-52.

PIDD, M., DE SILVA, F.N. et EGLESE, R.W. (1996), A simulation model for emergency evacuation. *European Journal Of Operational Research*, vol. 90, pp. 413-419.

PIROI (2005a), *Point de situation, actualisé le 12 décembre 2005 - Eruption du Karthala - Croix-Rouge Francaise, Croissant-Rouge Comorien*. PIROI, 25 p.

PIROI (2005b), *Sécurisation des points d'eau suite à l'éruption du volcan Karthala en Grande Comore - Rapport final d'opération*. PIROI, 14 p.

PNUD (2002), *Rapport sur les risques naturels et la protection civile en Grande Comore*. PNUD, 38 p.

PORTAL, T. (2009), *Crises et facteur humain - Les nouvelles frontières mentales des crises*. Bruxelles: de boeck. 272 p.

PRÉFECTURE DE LA RÉUNION (2005), Plan de Secours Spécialisé Volcan "Piton de la Fournaise". In L. RÉUNION. Saint-Denis de La Réunion, France, 71 p.

PRIM.NET (2010). *Glossaire des risques majeurs* [en ligne], disponible sur http://www.risquesmajeurs.fr/glossaire-risques-majeurs, document datant du 24/09/2009, consulté le 06/11/2011.

PRIM.NET (2012). *Ma commune face aux risques. La base Gaspar (Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels et technologiques)* [en ligne], disponible sur http://macommune.prim.net/gaspar/.

PROULX, G. (1993), A stress model for people facing a fire *Journal of Environmental Psychology*, vol. 13, n°2, pp. 137-147.

PROVITOLO, D. (2005), Un exemple d'effets de dominos : la panique dans les catastrophes urbaines. *Cybergeo : European Journal of Geography*, n°328.

QUESADA, C. (2005), Les hommes et leurs volcans : représentations et gestion des phénomènes volcaniques en polynésie (Hawaii et Royaume de Tonga). *Le Journal de la Société des Océanistes*, vol. 120-121, pp. 63-73.

RANÇON, J.F., LEREBOUR, P. et AUGÉ, T. (1989), The Grand Brûlé exploration drilling : new data on the deep framework of the Piton de la Fournaise volcano. Part 1 : Lithostratigraphic units and volcanostructural implication. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 36, pp. 113 - 127.

RAUNET, M. (1991), *Le milieu physique et les sols de l'île de la Réunion. Conséquences pour la mise en valeur agricole*. CIRAD, Région Réunion, 515 p.

REGHEZZA-ZITT, M., RUFAT, S., DJAMENT-TRAN, G., LE BLANC, A. et LHOMME, S. (2012), What Resilience Is Not: Uses and Abuses. *Cybergeo : European Journal of Geography*, n°621.

REGHEZZA, M. (2006), *Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine : la métropole parisienne face au risque de crue centennale*. Thès de Doctorat, Géographie, Université Paris X - Nanterre, Nanterre, France, sous la direction de Y. VEYRET. Soutenance 05/12/2006, 384 p.

REGHEZZA, M. (2009), Réflexions autour de la vulnérabilité : définition d'une approche intégrée à partir du cas de la métropole francilienne. In S. BECERRA et A. PELTIER. *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés.* Paris: L'Harmattan, coll. Sociologies et environnement, pp. 417-429.

REN, C., YANG, C. et JIN, S. (2009), Agent-Based Modeling and Simulation on Emergency Evacuation. In J. ZHOU. *Complex Sciences.* Berlin, Allemagne: Springer Berlin Heidelberg, vol. 5, pp. 1451-1461.

RÉUNION, R. (2003),Actes des Assises de la Recherche dans l'Océan Indien, *Assises de la Recherche dans l'Océan Indien*, Saint-Denis de La Réunion.

REVET, S. (2009a), De la vulnérabilité aux vulnérables : approche critique d'une notion performative. In A. PELTIER et S. BECCERA. *Vulnérabilités sociétales, risques et environnement.* Paris: L'Harmattan, pp. 89-99.

REVET, S. (2009b), *Les organisations internationales et la gestion des risques et des catastrophes « naturels »*. *Les Études du CERI*. Centre d'études et de recherches internationales Sciences Po, n°157, 30 p.

REVET, S. (2011), Penser et affronter les désastres : un panorama des recherches en sciences sociales et des politiques internationales. *Critique internationale*, vol. 3, n°52, pp. 157-173.

RICHET, P., COTTIN, J.-Y., DYON, J., MAURY, R. et VILLENEUVE, N. (2007), *Guide des volcans d'Outre-mer*. édité par G.S.B.B. ÉDITIONS. Saint-Etienne. 492 p.

ROBERT, J. (2012), *Pour une géographie de la gestion de crise : de l'accessibilité aux soins d'urgence à la vulnérabilité du territoire à Lima*. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, Grenoble, France. 549 p.

ROBERT, R. (1987), *Climat et hydrologie à la Réunion : étude typologique, étude régionale des pluies, de l'alimentation et de l'écoulement*. La Réunion: Nouvelle imprimerie Dionysienne. 438 p.

ROBIN, C. et LARDY, M. (2003), Volcans magiques et fascinants - Les comprendre pour mieux gérer leurs crises. *Les dossiers thématiques de l'IRD*. Disponible en ligne: http://www.mpl.ird.fr/suds-en-ligne/fr/volcan/volcans.htm.

ROFI, A., DOOCY, S. et ROBINSON, C. (2006), Tsunami mortality and displacement in Aceh province, Indonesia. *Disasters*, vol. 30, n°3, pp. 340-350.

ROLANDI, G., BARRELLA, A.M. et BORRELLI, A. (1993), The 1631 eruption of Vesuvius. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 58, n°1-4, pp. 183-201.

ROSI, M., PRINCIPE, C. et VECCI, R. (1993), The 1631 Vesuvius eruption. A reconstruction based on historical and stratigraphical data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 58, n°1-4, pp. 151-182.

ROULT, G., PELTIER, A., TAISNE, B., STAUDACHER, T., FERRAZZINI, V., DI MURO, A. et THE OVPT TEAM (2012), A new comprehensive classification of the Piton de la Fournaise activity spanning the 1985–2010 period. Search and analysis of short-term precursors from a broad-band seismological station. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 241-242, pp. 78-104.

RUIN, I. (2007), *Conduite à contre-courant. Les pratiques de mobilité dans le Gard : facteur de vulnérabilité aux crues rapides*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, sous la direction de H. GUMUCHIAN. 362 p.

SAARINEN, T.F. et SELL, J.L. (1985), *Warning and response to the Mount St. Helens eruption*. Albany: State University of New York Press. 240 p.

SAHAL, A. (2011), *Le risque tsunami en France : contributions méthodologiques pour une évaluation intégrée par scénarios de risque*. Thèse de Doctorat, Laboratoire de Géographie Physique UMR 8591, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, France, sous la direction de F. LAVIGNE et F. LEONE. Soutenance 10/12/2011, 268 p.

SAHAL, A. et MORIN, J. (2012), Effects of the October 25, 2010, Mentawai tsunami in La Réunion Island (France): observations and crisis management. *Natural Hazards*, vol. 62, n°3, pp. 1125-1136.

SANDRI, L., GUIDOBONI, E., MARZOCCHI, W. et SELVA, J. (2009), Bayesian event tree for eruption forecasting (BET_EF) at Vesuvius, Italy: a retrospective forward application to the 1631 eruption. *Bulletin of Volcanology*, vol. 71, n°7, pp. 729-745.

SARANT, P.M., DE VANSSAY, B., LEONE, F., ASSELIN DE BEAUVILLE, C., PONTIKIS, C., PAGNEY, F., KOUSSOULA–BONNETON, A., COLBEAU–JUSTIN, L., SCHICK, O., LESALES, T., GASPARD, G., POLLION, G., LEGRAND, E., JEAN–MARIUS, L., BENITO–ESPINAL, E., BOYER, O. et FAURE, Y. (2003), *Retour d'expérience sur la prise de décision et le jeu d'acteurs : le cas du cyclone Lenny dans les Petites Antilles au regard du passé - Rapport final du programme « Evaluation et prise en compte des risques naturels et technologiques »*. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (M.E.D.D.), 332 p.

SASAI, Y. (2010),Countermeasure against Volcanic Hazards on Volcanic Islands in Tokyo metropolitan City, Japan, *Cities on Volcanoes 6*, Puerto de la Cruz, Tenerife, Espagne.

SAVIN, C. (2001), *Circulation hydrothermale au sein du volcan Karthala (Ile de la Grande Comore - Océan Indien) : apports de la géophysique*. Thèse de doctorat, Sciences de la Terre, Université de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, sous la direction de P. BACHÈLERY. Soutenance 19/09/2001, 285 p.

SAVIN, C., GRASSO, J.-R. et BACHÈLERY, P. (2005), Seismic signature of a phreatic explosion: hydrofracturing damage at Karthala volcano, Grande Comore Island, Indian Ocean. *Bulletin Volcanologique*, vol. 67, pp. 717-731.

SAVIN, C., RITZ, M., JOIN, J.-L. et BACHÈLERY, P. (2001), Hydrothermal system mapped by CSAMT on Karthala volcano, Grande Comore Island, Indian Ocean. *Journal of Applied Geophysics*, vol. 48, pp. 143-152.

SCANDONE, R., GIACOMELLI, L. et GASPARINI, P. (1993), Mount Vesuvius: 2000 years of volcanological observations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 58, pp. 5-25.

SCHNEIDER, J.-L. (2009), *Les traumatismes de la terre - Géologie des phénomènes naturels extrêmes.* édité par S.G.D.F. VUIBERT. Paris. 197 p.

SCHOENEICH, P. et BUSSET-HENCHOZ, M.-C. (1998), La dissonance cognitive : facteur explicatif de l'accoutumance au risque. *Revue de géographie alpine*, vol. 86, n°2, pp. 53-62.

SCOONES, I. (1998), Sustainable rural livelihoods: a framework for analysis. *IDS working Paper*, vol. 72.

SELVA, J., COSTA, A., MARZOCCHI, W. et SANDRI, L. (2010), BET_VH: exploring the influence of natural uncertainties on long-term hazard from tephra fallout at Campi Flegrei (Italy). *Bulletin of Volcanology*, vol. 72, n°6, pp. 717-733.

SERVADIO, Z. (2011), *Apports de l'imagerie à haute résolution spectrale et spatiale dans les bilans de volumes et bilans radiatifs au Piton de La Fournaise*. Thèse de Doctorat, Sciences de la Terre, Université de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, sous la direction de P. BACHÈLERY et N. VILLENEUVE. 313 p.

SHEPHERD, G.M. (2008), Two marriage forms in the Comoro Islands : an investigation. *Journal of the International African Institute*, vol. 47, n°4, pp. 344-359.

SHI, J., REN, A. et CHEN, C. (2009), Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions. *Automation in Construction*, vol. 18, pp. 338-347.

SIMONIN, J. (2000), Médias locaux et citoyenneté - L'espace public réunionnais entre communauté et société. *Hermès*, vol. 26-27, pp. 295-307.

SIMONIN, J. (2005), Un imaginaire médiatique. La presse réunionnaise et le volcan de la Fournaise. In *Magma Mater, L'imaginaire du volcan dans l'océan Indien.* Paris, pp. 195-208.

SIMONIN, J. et WOLFF, E. (2010), Radio FreeDom : un processus de coproduction de l'information. *communication & langages*, vol. 165, pp. 47-60.

SMALL, C. et NAUMANN, T. (2001), The global distribution of human population and recent volcanism. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, vol. 3, n°3–4, pp. 93-109.

SMIETANA, M. (2007), *Etude pétrologique et volcanologique des dépôts des quatre dernières éruptions du Karthala*. Mémoire de Master, Laboratoire GéoSciences Réunion, Université de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France, sous la direction de P. BACHÈLERY, P. BOIVIN et G. BOUDON. Soutenance 22/06/2007, 51 p.

SMIETANA, M. (2011), *Pétrologie, géochronologie (K-Ar) et géochimie élémentaire et isotopique (Sr, Nd, Hf, Pb) de laves anciennes de La Réunion : Implications sur la construction de l'édifice volcanique*. Thèse de Doctorat, Laboratoire GéoSciences Réunion, Laboratoire Domaines Océaniques, Université de La Réunion, Université de Brest, Saint Denis de La Réunion, sous la direction de P. BACHÈLERY et C. HEMOND. Soutenance 31/10/2011, 248 p.

SMITHSONIAN NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY (2005a), Karthala (Comoros Islands) Eruption on 24 November 2005; big evacuation and one fatality. *Bulletin of the Global Volcanism Network*, vol. 30, n°11, pp. 2-4.

SMITHSONIAN NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY (2005b), Karthala (Comoros) 16 April 2005 seismicity leading to eruption; near-source tephra 1.5 m thick. *Bulletin of the Global Volcanism Network*, vol. 30, n°4, pp. 9-11.

SOGREAH (2010), *Schéma de prévention des risques naturels à La Réunion - Rapport*. DDE, n°n°4701083, 92 p.

SOGREAH (2011), *Schéma de Prévention des Risques Naturels de La Réunion - Rapport de phase 2 : programme d'actions*. DEAL, n°n°4701083, 50 p.

SOLANA, M., KILBURN, C. et ROLANDI, G. (2008), Communicating eruption and hazard forecasts on Vesuvius, Southern Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, n°3-4, pp. 308-314.

SOULE, H. (2003), Proposition d'un plan d'urgence pour la gestion des crises volcaniques en Grande Comore. *Ya Mkobe*, vol. 10, pp. 59-73.

SOULE, H. (2011), *Cartographie préliminaire des chenaux d'écoulement des lahars actifs en 2010 (reconnaissance de terrain et extrapolation de la tête des chenaux à partir de la carte topographique de Grande Comore au 50 000e).* 1 p.

SOUVET, L. et DORR, P. (2000). *Eruption du 24 mars 1977. Fournaise.info* [en ligne], disponible sur http://www.fournaise.info/eruption24mars1977.php.

SOUVET, L. et DORR, P. (2012). *Fournaise.info* [en ligne], disponible sur http://www.fournaise.info/index.php.

STAUDACHER, T., FERRAZZINI, V., PELTIER, A., KOWALSKI, P., BOISSIER, P., CATHERINE, P., LAURET, F. et MASSIN, F. (2009), The April 2007 eruption and the Dolomieu crater collapse , two major events at Piton de la Fournaise ( La Réunion Island , Indian Ocean ). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 184, n°1-2, pp. 126-137.

STIELTJES, L. (1990), Evaluation des risques naturels au Piton de La Fournaise. In J.-F. LÉNAT. *Le volcanisme de la Réunion - Monographie.* Clermont-Ferrand: Centre de Recherche en Volcanologie, pp. 357–379.

STIELTJES, L. (2003), Au-dessous du Volcan. *Aléas et enjeux*, vol. 9, pp. 14-15.

STIELTJES, L. et MOUTOU, P. (1989), A statistical and probabilistic study of the historic activity of Piton de la Fournaise, Reunion Island, Indian Ocean. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 36, pp. 67-86.

STRONG, D.F. (1972), The Petrology of the Lavas of Grande Comore. *Journal of Petrology*, vol. 13, n°2, pp. 181-217.

STRONG, D.F. et JACQUOT, C. (1970), The Karthala Caldera, Grande Comore. *Bulletin Volcanologique*, vol. 34, n°3, pp. 663-680.

SZEPIELAK, D. (2010),Jouer à être sauvé, *Colloque autoprotection avec les enfants : quelles ressources pédagogiques pour améliorer la préparation au sein de la communauté ?*, Paris.

TAGLIONI, F. (2003), *Recherches sur les petits espaces insulaires et sur leurs organisations régionales*. Mémoire d'HDR, Université Paris IV-Sorbonne, Paris, France. 218 p.

TANGUY, J.C., RIBIERE, C., SCARTH, A. et TJETJEP, W.S. (1998), Victims from volcanic eruptions: a revised database. *Bulletin of Volcanology*, vol. 60, n°2, pp. 137-144.

TANTALA, M.W., NORDENSON, G.J.P., DEODATIS, G. et JACOB, K. (2008), Earthquake loss estimation for the New York City Metropolitan Region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 28, n°10-11, pp. 812-835.

TAYAG, J.C., INSAURIGA, S.I., RINGOR, A. et BELO, M. (1996), People's response to eruption warning : the Pinatubo experience, 1991–1992. In C.G. NEWHALL et R.S. PUNONGBAYAN. *Fire and mud. Eruptions and lahars of Mt Pinatubo, Philippines.* Seattle: University of Washington Press, pp. 87–106.

TAZIEFF, H. (1978), *La Soufrière et autres volcans - la volcanologie en danger*. édité par FLAMMARION. Evreux. 150 p.

TEXIER, P. (2007),L'éruption du Merapi et le séisme de mai 2006 à Java-Centre : des crises révélatrices des réelles causes de vulnérabilité des populations / The May 2006 Merapi eruption and Central Java earthquake: Some revealing crises of the root causes of Indonesian people's vulnerability, *3ème Congrès du Réseau Asie - IMASIE / 3rd Congress of Réseau Asie - IMASIE*, 26-27-28 sept. 2007, Paris, France.

THOURET, J.C. et LEONE, F. (2003), Aléas, vulnérabilités et gestion des risques naturels. In *Questions de Géographie. Les Risques.* Paris, France: Éditions Du Temps, pp. 37-70.

TOBIN, G.A. et WHITEFORD, L.M. (2002), Community Resilience and Volcano Hazard: The Eruption of Tungurahua and Evacuation of the Faldas in Ecuador. *Disasters*, vol. 26, n°1, pp. 28-48.

TODESCO, M. et TODINI, E. (2004), Volcanic Eruption Induced Floods. A Rainfall-RunoffModel Applied to the Vesuvian Region (Italy). *Natural Hazards*, vol. 33, pp. 223-245.

TULET, P. et VILLENEUVE, N. (2011), Large scale modelling of the transport, chemical transformation and mass budget of the sulfur emitted during the April 2007 eruption of Piton de la Fournaise. *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 11, pp. 4533–4546.

TURNER, B.A. (1978), *Man-made disasters: The Failure of Foresight*. Taylor & Francis Group. 254 p.

TWIGG, J. (2001), Sustainable livelihoods and vulnerability to disasters. *Disaster Management Working Paper*. n°2/2001.

UA/NEPAD (2004), *La Stratégie régionale africaine pour la réduction des risques de catastrophe*. Union Africaine & Nouveau Partenariat pour le Développement Africain, 22 p.

UBYRISK-CONSULTANT (2011). *BD CATNAT* [en ligne], Base de données disponible sur http://www.catnat.net/donneesstats/bd-catnat.

UNCRD (2004), *Sustainable Community Based Disaster Management (CBDM) Practices in Asia, A User's Guide*. Kobe, Japan: United Nations Center for Regional Development. 147 p.

UNDP (2007). *Human Development Report Comoros* [en ligne], disponible sur http://hdrstats.undp.org/countries/country_fact_sheets/cty_fs_COM.html, consulté le 15/12/2007.

UNICEF (2007). *UNICEF Humanitarian Action: Comoros Donor* [en ligne], disponible sur http://www.reliefweb.int/rw/rwb.nsf/db900SID/LSGZ-728C9S?OpenDocument, document datant du 13/04/2007, consulté le 29/08/2008.

UNION DES COMORES (2004a), Plan National de Préparation et de Réponse à l'urgence. In. Moroni, Union des Comores, 68 p.

UNION DES COMORES (2004b). *Site officiel de l'Union des Comores* [en ligne], disponible sur http://www.beit-salam.km, consulté le 15/12/2007.

UNION DES COMORES (2007), Plan National de Préparation et de Réponse à l'urgence. In. Moroni, Union des Comores, 86 p.

UNION DES COMORES (2011), *Education à la gestion des catastrophes naturelles - guide pédagogique du maître*. 94 p.

UNION DES COMORES et NATIONS UNIES (2005), *Objectifs du Millénaire pour le Développement*. 66 p.

UNION DES COMORES et PNUD (2005), *Pauvreté, Inégalité et Marché du Travail dans l'Union des Comores, Eléments d'Analyse Fondés sur l'Enquête Intégrale Auprès des Ménages de 2004*. Direction de la Statistique du Commissariat Général au Plan de l'Union des Comores, n°2, 138 p.

UNION DES COMORES et PNUD (2008), *Education à la gestion des catastrophes naturelles - guide pédagogique du maître*. Ministère de l'Education Nationale de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, 55 p.

UNIVERSITY OF DELAWARE (1990),Public perception of volcano hazard at Mt. St. Helens, *Prediction and perception of Natural hazards. International Conference*, Oct. 22-26, 1990, Perugia.

UPTON, B.G. (1982), Oceanic Islands. In P. NAIRN & STEHLI ED. *Ocean Basins and their Margins, Indian Ocean.* vol. 6(13), pp. 585-648.

URAI, M., GESHI, N. et STAUDACHER, T. (2007), Size and volume evaluation of the caldera collapse on Piton de la Fournaise volcano during the April 2007 eruption using ASTER stereo imagery. *Geophysical Research Letters*, vol. 34, n°22, pp. 7-7.

URSULET, L. (1994), *La destruction de Saint-Pierre Martinique en 1902 : antécédents et conséquences socio-économiques et politiques sur la vie de la Martinique*. Thèse de Doctorat, Université des Antilles-Guyane, Martinique, sous la direction de L.-R. ABÉNON. 694 p.

VAAC (2006), Rapport de situation sur l'éruption du Karthala le 29 mai 2006. In FAX. Toulouse: Husson, Philippe, p.

VAN DE CASTEELE, A. (2006), *Mise en place d'un outil d'aide à la décision et d'analyse du risque volcanique par la simulation des coulées de lave*. Mémoire de Master 1, Geographie, Université de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, sous la direction de N. VILLENEUVE. p.

VAXELAIRE, D. (2009a), *L'histoire de la Réunion : de 1848 à l'an 2000*. Orphie. 703 p. ISBN 2877634752.

VAXELAIRE, D. (2009b), *L'histoire de la Réunion : des origines à 1848*. Orphie. 352 p. ISBN 2877637905.

VEYRET, Y. (2001), Géographie des risques naturels. *Documentation photographique / La documentation française*, vol. 8023.

VIANE, C., BHUGWANT, C., SIEJA, B., STAUDACHER, T. et DEMOLY, P. (2009), Étude comparative des émissions de gaz volcanique du Piton de la Fournaise et des hospitalisations pour asthme de la population réunionnaise de 2005 à 2007. *Revue Française d'Allergologie*, vol. 49, n°4, pp. 346-351.

VILLALBA, E. (2010),The Lessons of the 2004 Seismic-Volcanic crisis in tenerife, Canary islands, Spain, *Cities on Volcanoes 6*, Puerto de la Cruz, Tenerife, Espagne.

VILLENEUVE, N. (2000), *Apports multi-sources à une meilleure compréhension de la mise en place des coulées de lave et des risques associés au Piton de la Fournaise : Géomorphologie quantitative en terrain volcanique*. Thèse de Doctorat, IPGP, OVPF, Université de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, sous la direction de J.-L. CHEMINÉE. Soutenance 22/10/2000, 378 p.

VILLENEUVE, N. et BACHÈLERY, P. (2006), Revue de la typologie des éruptions au Piton de La Fournaise, processus et risques volcaniques associés. *Cybergeo*, vol. 336, pp. 1-25.

VILLENEUVE, N., MORIN, J., VAN DE CASTEELE, A., FINIZOLA, A., NASSOR, H., SOULE, H. et BACHÈLERY, P. (2006),Retour d'expériences et programmes de recherches pour une meilleure connaissance et gestion du risque volcanique, *La Réunion face aux risques naturels*, 17-18/09/2006, Saint-Denis de La Réunion, France.

VINET, F. (2007), *Approche institutionnelle et contraintes locales de la gestion du risque. Recherches sur le risque inondation en Languedoc-Roussillon*. Mémoire d'HDR, Université Montpellier III, Montpellier, France. 275 p.

VOIGHT, B. (1990), The 1985 Nevado del Ruiz volcano catastrophe: analtomy and retrospection. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 44, pp. 349-386.

VOIRON-CANICIO, C. et OLIVIER, F. (2005), Anticiper, à l'aide d'un SIG, les conséquences de la paralysie urbaine en temps de catastrophe: application à la ville de Nice. *Systèmes d'information géographique et gestion des risques, ISTED*, pp. 55-58.

WALKER, G.P.L. (1973), Explosive volcanic eruptions - a new classification scheme. *Geol. Rundschau*, vol. 62, pp. 431-446.

WATIN, M. (2001), *Communication et espace public. Univers créoles 1*. Paris: Economia. 266 p.

WATIN, M. (2009), Polémique, rumeur et Tension : de la « crise » du chikungunya dans l'espace public médiatique réunionnais. In S. FUMA et J. LOW CHONG. *Epidémies et pharmacopée traditionnelle dans l'histoire des iles et pays de l'Océan indien occidental.* L'Harmattan, pp. 241-251.

WATIN, M. et WOLFF, E. (1995), L'émergence de l'espace public à la Réunion. Un contexte socio-historique singulier. *Etudes de communication*, vol. 17, pp. 19-39.

WFP et UE (2006), *Comoros: Comprehensive Food Security and Vulnerability Analysis (CFSVA)*. United Nations World Food Programme, 62 p.

WHITE, G.F. (1974), *Natural Hazards: Local, National, Global*. Oxford University Press. 288 p.

WILLIAMS, R.S. et MOORE, J.G. (1983), *Man Against Volcano: The Eruption on Heimaey, Vestmannaeyjar, Iceland*. Darby, USA: Diane Publishing Co. 27 p.

WILSON, T., COLE, J., JOHNSTON, D., CRONIN, S., STEWART, C. et DANTAS, A. (2012), Short- and long-term evacuation of people and livestock during a volcanic crisis: lessons from the 1991 eruption of Volcan Hudson, Chile. *Journal of Applied Volcanology*, vol. 1, n°2, pp. 1-11.

WILSON, T., COLE, J.W., STEWART, C., CRONIN, S.J. et JOHNSTON, D.M. (2011), Ash storms: impacts of wind-remobilised volcanic ash on rural communities and agriculture following the 1991 Hudson eruption, southern Patagonia, Chile. *Bull Volcanol*, vol. 73, n°223–239.

WISNER, B. (1993), Disaster Vulnerability: Scale, Power and Daily Life. *GeoJournal*, vol. 30, n°2, pp. 127-140.

WISNER, B. (2006), *A Review of the Role of Education and Knowledge in Disaster Risk Reduction*. ISDR System Thematic Cluster / Platform on Knowledge and Education. 148 p.

WISNER, B., BLAIKIE, P., CANNON, T. et DAVIS, I. (2003), *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Edition 2. Routledge. 496 p. ISBN 978-0415252164.

WITHAM, C.S. (2005), Volcanic disasters and incidents: A new database. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 148, n°3-4, pp. 191-233.

WORLD BANK GROUP (2007). *World Development Indicators database 2007-2008* [en ligne], Base de données disponible sur http://devdata.worldbank.org/external/CPProfile.asp?CCODE=COM&PTYPE=CP, document datant du 15/12/2007.

WYBO, J.-L., GODFRIN, V., COLARDELLE, C., GUINET, V. et REMIS DENIS, C. (2003), *Méthodologie de retour d'expérience des actions de gestion des risques*. *Programme « Evaluation et Prévention des Risques » - Convention MATE 07/2001* Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable / Ecole des Mines de Paris, 215 p.

ZAINUDDIN, Z., THINAKARAN, K. et ABU-SULYMAN, I.M. (2009), Simulating the Circumambulation of the Ka'aba using SimWalk. *European Journal of Scientific Research*, vol. 38, n°3, pp. 454-464.

ZHONGA, M., SHIA, C., TUB, X., FUA, T. et HE, L. (2008), Study of the human evacuation simulation of metro fire safety analysis in China. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 21, pp. 287-298.

# Tables

## TABLE DES MATIERES


**INTRODUCTION GENERALE** ..... **1**

**CHAPITRE I - GESTION DES RISQUES ET DES CRISES VOLCANIQUES** ..... **9**

*1. Clarifications sémantiques et conceptuelles autour des notions de risque et de crise* ..... *11*
1.1. La gestion du risque ..... 11
1.2. La gestion des crises ..... 15
*2. La gestion des risques et des crises volcaniques dans le monde* ..... *21*
2.1. Le risque volcanique ..... 21
2.2. La gestion complexe des risques et des crises volcaniques ..... 26
2.3. L'apport des crises dans la gestion des risques ..... 34

**CHAPITRE II - DEUX TERRITOIRES INSULAIRES EXPOSES AU RISQUE VOLCANIQUE** ..... **47**

*1. Deux îles volcaniques tropicales au développement socio-économique contrasté* ..... *49*
1.1. Des territoires insulaires façonnés par le volcanisme et le climat tropical ..... 50
1.2. Des sociétés vulnérables essentiellement concentrées sur les franges littorales ..... 56
*2. Des territoires exposés à la menace volcanique* ..... *67*
2.1. Un volcanisme actif menaçant régulièrement les sociétés réunionnaise et grand-comorienne ..... 67
2.3. Faire face aux risques volcaniques à La Réunion et en Grande Comore ..... 80

**CHAPITRE III - APPROCHE METHODOLOGIQUE** ..... **87**

*1. Réponses des institutions et populations face aux crises volcaniques : analyse des capacités théoriques* ..... *89*
1.1. Modes théoriques de gestion de crise par les institutions ..... 89
1.2. Réponses potentielles des populations à travers l'étude des représentations ..... 92
1.3. Réponses théoriques des sociétés à travers l'étude de leurs capacités et vulnérabilités ..... 104
*2. Réponses des institutions et populations face aux crises volcaniques : analyse d'événements récents* ..... *111*
2.1. Préambule a l'observation des réponses en temps de crise : la caractérisation des aléas en appui à la gestion des crises volcaniques ..... 111
2.2. Observations participantes des réponses et recueil de témoignages pendant les crises ..... 113
2.3. Retours d'expérience sur la gestion des crises éruptives de 2006 en Grande Comore, 2007 à La Réunion et des lahars depuis 2005 en Grande Comore ..... 116
*3. Synthèse méthodologique* ..... *129*
3.1. Atouts et faiblesses du travail d'enquête ..... 129
3.2. Disparité des données disponibles sur les deux îles ..... 130
3.3. Récapitulatif des méthodes et approches ..... 130

**CHAPITRE IV - LA GESTION DES CRISES VOLCANIQUES A LA REUNION : SIMPLE FORMALITE OU CASSE-TETE?** ..... **133**

*1. Evolution de la gestion des crises volcaniques à La Réunion jusqu'à l'éruption majeure de 2007* *135*
1.1. Leçons tirées de l'activité éruptive du Piton de la Fournaise du milieu du XXème siècle à 2006 ..... 135
1.2. Modalités de gestion de crise à l'aube de l'éruption de 2007 ..... 143
*2. Avril 2007 : gestion problématique d'une éruption ordinaire ou situation de crise exceptionnelle ?* ..... *151*
2.1. Une éruption aux caractéristiques inhabituelles ..... 152
2.2. Des difficultés de gestion liées au caractère exceptionnel de l'éruption ? ..... 165

**CHAPITRE V - LES BALBUTIEMENTS DE LA GESTION DES CRISES VOLCANIQUES EN GRANDE COMORE** ..... **213**

*1. Naissance et évolution de la gestion des crises volcaniques en Grande Comore* ..... *215*
1.1. Les leçons tirées de l'activité éruptive du Karthala de 1977 à 2005 ..... 215
1.2. Modalités de la gestion de crise à l'aube de l'éruption de 2006 ..... 221
*2. Retour d'expérience sur la crise eruptive de 2006* ..... *227*
2.1. Une éruption magmatique confinée au sommet ..... 227
2.2. Réponses des acteurs institutionnels et populations : les problématiques soulevées par la crise éruptive de mai 2006 ..... 229
2.3. Synthèse des apports de la crise de mai 2006 et des besoins actuels pour la gestion des crises éruptives 247
*3. Les lahars à Vouvouni depuis 2005 : gestion d'une crise durable* ..... *253*
3.1. Vouvouni, village favorisé à proximité de Moroni ..... 253
3.3. Les lahars, aléa « nouveau » consécutif aux éruptions de 2005 ..... 256
3.4. Les réponses face aux lahars à Vouvouni : des tentatives de gestion du risque à l'attrait de la ressource. 266
3.5. Préconisations pour une sortie de crise à Vouvouni ..... 277

**CHAPITRE VI - VERS UNE MEILLEURE GOUVERNANCE DES CRISES A LA REUNION ET EN GRANDE COMORE ?** ..... **279**

*1. Causes profondes des réponses apportées face aux crises volcaniques* ..... *281*

1.1. Facteurs institutionnels ... 281
1.2. Facteurs culturels ... 290
1.3. Facteurs socio-économiques ... 296
1.4. Approche territoriale ... 300
1.5. Conclusion sur les causes profondes des réponses ... 306
*2. Proposition de solutions pour l'amélioration de la gestion des crises volcaniques à La Réunion et en Grande Comore ... 307*
2.1. Sensibiliser et préparer les populations aux risques ... 308
2.2. Faciliter la communication et les RETEX ... 314
2.3. Conscientiser et former les décideurs ... 317
2.4. Quelques recommandations pour une bonne gouvernance des crises volcaniques ... 322
**CONCLUSION GENERALE ... 325**
**BIBLIOGRAPHIE ... 333**
**TABLES ... 359**
*Table des Matières ... 362*
*Table des Figures ... 364*
*Table des Tableaux ... 367*
**ANNEXES ... A - 1**

## TABLE DES FIGURES


Figure 1 - Organisation des organes et plans de gestion de crise en France (source : Institut des Risques Majeurs, http://www.mementodumaire.net) ..... 20

Figure 2 - Les événements volcaniques catastrophiques dans le monde de 1900 à 2012 classés par impacts (d'après EM-DAT, consulté le 14-02-2012) ..... 25

Figure 3 - La Grande Comore et La Réunion dans leur contexte régional ; principaux villages et villes et détails des limites administratives préfectorales pour la Grande Comore et communales pour La Réunion ..... 49

Figure 4 - Cartes des isohyètes et régimes de vents de basse altitude de la Grande Comore et de La Réunion (isohyètes : période indéterminée, d'après Battistini et Vérin [1984] pour la Grande Comore ; période 1958-1980, d'après Raunet, 1991 pour La Réunion) ..... 52

Figure 5 - Carte morpho-structurale de La Réunion (fonds de carte IGN BD-Raster 2008 ; coulées d'après données de Servadio [2011] ; rift-zones d'après Bachèlery & Mairine, 2006) ..... 54

Figure 6 - Principales unités structurales de Grande Comore (modifié d'après Bachèlery et Coudray [1993] ; fonds : MNT SRTM 90 ; coulées d'après données Nassor [2001]) ..... 56

Figure 7 - Le Grand Mariage exprime tout le poids des traditions et l'importance du tissu social (Bambao, 2006) 60

Figure 8 - Citerne à ciel ouvert sur le toit d'une habitation dans un village du Bambao en 2006 ..... 61

Figure 9 - Un peuplement concentré sur les franges littorales. A) Urbanisation du littoral Ouest de La Réunion dominé par la route des Tamarins en 2009 ; B) forte concentration d'enjeux en 2008 à Moroni ..... 62

Figure 10 - L'organisation territoriale réunionnaise (données BD Topo IGN, 2008 ; Conseil Régional de La Réunion, 2010 ; Université de La Réunion & INSEE, 2003) ..... 65

Figure 11 - Synthèse cartographique des enjeux majeurs en Grande Comore (modifiée d'après Morin, 2006) ... 66

Figure 12 - Principales catastrophes d'origine naturelle de 1900 à 2009 aux Comores et à La Réunion en fonction du nombre de personnes affectées (données EM-DAT, 2009) ..... 67

Figure 13 - Carte de zonage de l'aléa magmatique en Grande Comore, d'après Nassor [2001], basé sur quatre critères : ligne de plus grande pente, fréquence éruptive, densité des cônes éruptifs, simulations de coulées à l'aide du logiciel TRIFLUX ..... 69

Figure 14 - Carte de zonage de l'aléa "coulées de lave" à La Réunion, d'après le DDRM [BRGM 2008] ..... 70

Figure 15 - Coulées issues des rift-zones du Karthala : sur l'aéroport de Hahaya (A) et au lieu-dit Dzahani (« dans la coulée ») au centre-est de la Grande Comore (B) (clichés J. Morin, mai 2006) ..... 71

Figure 16 - Coulée de 1858 couvrant près du tiers de la surface urbanisée actuelle de Moroni ..... 71

Figure 17 - Localisation des coulées historiques hors-Enclos selon les rifts zones SE et NE de la Fournaise et impacts prenant en compte l'aménagement actuel du territoire (orientations et échelles variables ; fonds de cartes BD Raster v2.4 IGN & ESRI France/Cartosphère, 2008 ; enjeux BD Topo v2 IGN, 2009 ; coulées Z. Servadio) ..... 73

Figure 18 - « Risque » de retombées de cheveux de Pele à La Réunion, d'après le DDRM [BRGM, 2008] ..... 74

Figure 19 - Carte de zonage des aléas "retombées de blocs, lapilli et cendres" à La Réunion, d'après le DDRM [BRGM, 2008] ..... 75

Figure 20 - Carte de zonage de l'aléa retombées de cendres en Grande Comore, d'après Nassor [2001] ..... 75

Figure 21 - Synthèse cartographique des indices d'exposition fournis dans le DDRM [BRGM, 2008] ..... 79

Figure 22 - Cartographie du risque volcanique en Grande Comore d'après Nassor [2001] ..... 79

Figure 23 - Cartographie de l'aléa coulées de lave et recouvrement par des coulées (Mairine & Crozet, travaux in prep., version 2009, com. pers.) ..... 81

Figure 24 - Quartiers enquêtés par questionnaire à Sainte-Rose et Saint-Philippe (E-RUN4, n=117) ..... 95

Figure 25 - Localisation des pré-enquêtes réalisées en Grande Comore en 2006 ..... 97

Figure 26 - Localisation des communautés enquêtées ..... 101

Figure 27 - Enquêtes en Grande Comore : démarches qualitative et quantitative complémentaires. (A) Un étudiant en géographie de l'Université de Moroni pendant la passation du questionnaire OCHA ; (B) entretien avec l'instituteur de Kourani Sima ..... 102

Figure 28 - Thématiques et organisation de la campagne d'enquêtes réalisée en Grande Comore ..... 103

Figure 29 - Un moyen efficace de localiser les ressources communautaires : la cartographie participative réalisée en FGD (passation CRCo 2009) ..... 109

Figure 30 - Fréquentation de la zone sommitale de la Fournaise et comportements des randonneurs face aux restrictions d'accès ..... 116

Figure 31 - Etapes et composantes des RETEX sur la gestion des crises associées aux aléas volcaniques au Piton de la Fournaise et au Karthala ..... 118

*Figure 32 - Aléas et impacts associés : un exemple d'apport des vues aériennes (éruption du Piton de la Fournaise, cliché F. Caillé, 07/04/2007)* ..... 119

Figure 33 - Principaux critères retenus pour la synthèse des mesures adoptées en réponse à un événement .. 127

Figure 34 - Synthèse des facteurs de défaillance par acteurs observés lors des RETEX de mai 2006 en Grande Comore et avril 2007 à La Réunion ..... 127
Figure 35 - Synthèse des approches méthodologiques et résultats obtenus ..... 131
Figure 36 - Coulées de 1977 à Piton Sainte-Rose (fonds IGN France Raster v2, & Google Earth, 2011) et dégâts occasionnés (modifié d'après Krafft et de Saint-Ours [1977]) ..... 137
Figure 37 - Dispositif opérationnel déployé face aux coulées de 1986 à Saint-Philippe (modifié d'après Bertile [1987]) ..... 138
Figure 38 - Réseau de surveillance du Piton de la Fournaise (modifié d'après données Intranet OVPF consulté le 23/09/2011) ..... 144
Figure 39 - Schéma de diffusion de l'alerte en cas d'éruption volcanique (issu du PSS [Préfecture de La Réunion 2005]) ..... 147
Figure 40 - Principaux types de restrictions mises en place lors des éruptions du Piton de la Fournaise (décrits dans le PSS Volcan) ..... 149
Figure 41 - Organisation du commandement en temps de crise à La Réunion (réalisé d'après les données du PSS [Préfecture de La Réunion 2005]) ..... 150
Figure 42 - Migration de l'activité éruptive de la zone sommitale vers les zones basses en 2007 (l'étoile correspond au scenario de sortie retenu dans la suite du chapitre) ..... 152
Figure 43 - Panaches éruptif et littoral atteignant environ 5000 m d'altitude le 04/04/07 vus depuis Sainte-Rose (J. Morin) et détail sur le panache littoral à proximité des habitations de la Pointe du Tremblet le 06/04/07 (F. Caillé) ..... 155
Figure 44 - Intensité des aléas et de leurs effets perçus par les collégiens et lycéens de l'île lors de l'éruption d'avril 2007 ..... 157
Figure 45 - Cratère Dolomieu rempli le 31/10/2006 et immédiatement après le premier effondrement le 06/04/07 (OVPF ; J. Morin, vues d'hélicoptère orientées vers le Nord-Est et l'Est) ..... 159
Figure 46 - Cartographie synthétique de l'instabilité sommitale de novembre 2007 à mai 2008 (modifié d'après Jacquard [2008] ; fonds Google Earth) ..... 160
Figure 47 - Synthèse des impacts attribuables à la coulée, aux gaz et aux retombées d'avril 2007 au Tremblet 161
Figure 48 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise le 2 avril 2007 ..... 165
Figure 49 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise le 3 avril 2007 ..... 166
Figure 50 - Dispositifs opérationnels mis en place au Piton de la Fournaise le 4 avril 2007 au matin et dans l'après-midi ..... 167
Figure 51 - Dispositifs opérationnels mis en place au Piton de la Fournaise le 5 avril 2007 au matin et dans l'après-midi ..... 168
Figure 52 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise le 6 avril 2007 ..... 169
Figure 53 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise le 7 avril 2007 et illustration du barrage filtrant du Tremblet ..... 170
Figure 54 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise les 8 et 9 avril 2007 ..... 171
Figure 55 - Dispositifs opérationnels mis en place au Piton de la Fournaise du 10 au 13 avril 2007 ..... 171
Figure 56 - Dispositifs opérationnels mis en place au Piton de la Fournaise du 20 au 24 avril 2007 ..... 173
Figure 57 - Dispositif opérationnel mis en place au Piton de la Fournaise le 5 mai 2007 ..... 174
Figure 58 - Légende pour les Figure 48 à Figure 57 ..... 175
Figure 59 - Spectateurs, forces de l'ordre et journalistes assistent à la coupure de la RN2 par la lave le 2 avril 2007 au Tremblet ..... 178
Figure 60 - Arbre causes/conséquences de l'afflux massif de visiteurs au Tremblet du 2 au 4 avril 2007 ..... 178
Figure 61 - Courbe d'accessibilité à la zone refuge (pour 2000 agents) ..... 179
Figure 62 - La décision d'évacuation du Tremblet en avril 2007 (comparaison avec la prise de décision définie dans le PSS Volcan) ..... 181
Figure 63 - Causes et conséquences de la décision d'évacuation du Tremblet le 6 avril 2007 ..... 185
Figure 64 - Mise en place graduelle du dispositif de surveillance de la pollution atmosphérique ..... 187
Figure 65 - Une gestion controversée des épisodes de pollution atmosphérique ..... 190
Figure 66 - Vue et sentiers au départ du Pas de Bellecombe (l'accès aux sentiers varie en fonction des événements, ici : après la mise en place de la plateforme sommitale d'observation en décembre 2009) 191
Figure 67 - Conditions d'accès au volcan du 01/01/07 au 10/03/11 - actualisé d'après [Morin et al. 2010] ..... 193
Figure 68 - Contrôle par les gendarmes des randonneurs qui sortent de l'Enclos en enjambant le portail (J.M. 03/01/2010) ..... 194
Figure 69 - Fréquentation de la zone sommitale pendant la période d'enquête (janvier-juin 2009, n=126 ; modifié d'après Jacquard 2009) ..... 195
Figure 70 - « Plateforme » du Dolomieu (J. Morin, vues aériennes 12/01/2010, au sol 06/01/2010) ..... 196
Figure 71 - Causes et conséquences des politiques d'accès au sommet à partir d'avril 2007 ..... 197

Figure 72 - Extension de la coulée de 1977 ; en rosé aire recouverte de cendres (selon [Krafft 1982] ; sur fonds Google Earth, 2011) et vue aérienne oblique sur le bras Est de la coulée (source [Krafft et de Saint-Ours 1977] ; orientation indiquée sur le fonds Google Earth) ..... 216
Figure 73 - Connaissance de l'histoire éruptive du Karthala : réponses à la question 'Quelles éruptions du Karthala connaissez-vous?' (E-GC1b, 2006, n=135) ..... 217
Figure 74 - Retombées et nettoyage des cendres en novembre 2005 à Moroni (clichés H. Soule, 2005) ..... 219
Figure 75 - Analyse d'images pré et post désastre par l'UNOSAT suite aux éruptions de 2005 ..... 220
Figure 76 - Réseau de surveillance du Karthala en 2011 (source : points GPS fournis par l'OVK) ..... 222
Figure 77 - Schéma de diffusion des alertes en cas d'éruption volcanique (modifié d'après Union des Comores, 2007) ..... 224
Figure 78 - Organisation opérationnelle des secours décrite dans le Plan National de Préparation et de Réponse à l'Urgence ..... 226
Figure 79 - Principaux phénomènes observables au cours de l'éruption de mai 2006 (clichés AMISEC (A) ; J. Morin, 2006 (B & C) ; MNT A. Finizola (C)) ..... 228
Figure 80- L'observatoire Volcanologique du Karthala : un espace et des moyens restreints ..... 230
Figure 81 - OVK : des capacités d'accueil et de gestion de l'information largement dépassées ..... 233
Figure 82 - Rationalisation de la communication de crise à l'OVK à partir du 29 mai 2006. (A) Situation le 28/05/2006 au soir ; (B) Schéma mis en place le 29/05/2006 au matin ..... 235
Figure 83 - Exemple de rumeur reléguée par la presse internationale dans l'après-midi du 29 mai ..... 243
Figure 84 - Premières réactions déclarées par les enquêtés en mai 2006 (E-GC1b, n=135) ..... 244
Figure 85 - Vecteurs d'alerte des populations recensés en mai 2006 (E-GC1b, n=135) ..... 245
Figure 86 - Principaux problèmes posés aux populations lorsqu'une éruption survient (E-GC1b, n=135) ..... 246
Figure 87 - Perception de la gestion de crise par les populations en mai 2006 (E-GC1b, n=135) ..... 246
Figure 88 - Localisation de Vouvouni et des principales infrastructures identifiées par ses habitants (MNT GDEM ; carte topographique IGN au 1:50 000 ; fonds de carte : photo-interprétation sous Google Earth (2009), données issues de la cartographie participative projet CRF-CRCo 2008) ..... 255
Figure 89 - Formation et dépôt des lahars au Karthala (clichés J. Morin 2006, A-6 OVK 2005, A-9 F. Finizola 2007) ..... 257
Figure 90 - Route détruite par une coulée de débris sur la côte est de la Grande Comore, au nord de Pidjani et photo-interprétation des lahars sur la zone à partir de Google Earth (clichés J. Morin, avril 2007 ; fonds de carte Google Earth 2009 ; date de l'événement inconnue) ..... 258
Figure 91 - Cartographie des zones d'emprise des lahars et crues survenus en Grande Comore en 2010 (données de terrain Hamid Soule, 2010, com. pers.) ..... 259
Figure 92 - Pluviométrie à Moroni en avril 2009 (d'après données Météo Moroni, cumul des précipitations de 7h à 7h le lendemain ; les zones grisées signifient l'absence de données) ..... 259
Figure 93 - Impacts des lahars à Vouvouni (clichés J. Morin 2006-2007) ..... 263
Figure 94 - Traces du passage des lahars sur le nord de Vouvouni en avril 2009 (photo-interprétation des images Google Earth des 21/08/2004 et 22/04/2009) ..... 264
Figure 95 - Cartographie synthétique des dépôts de lahars à Vouvouni (données issues d'observations de terrain de 2006 à 2009 et d'une cartographie participative réalisée en 2009) ..... 265
Figure 96 - Mesures de protection face aux lahars à Vouvouni (clichés J. Morin 2006, P-2 J.C. Gaillard 2008). 271
Figure 97 - Exploitation des matériaux volcaniques en Grande Comore (clichés J. Morin 2006-2008, E-1 à proximité de Hahaya, E-2 à Itsoundzou, E-3 à Singani, E-4 à 7 à Vouvouni) ..... 272
Figure 98 - Synthèse des impacts et stratégies d'exposition/exploitation liés aux lahars à Vouvouni ..... 276
Figure 99 - Contournement du portail de l'Enclos par des autorisés le 03/01/2010, munis de leur autorisation en guise de clef. ..... 289
Figure 100 - Les fidèles prient la Vierge au Parasol devant Notre-Dame-des-Laves à Piton Sainte-Rose (10/01/2010) ..... 291
Figure 101 - Campagne de sensibilisation contre les vols prenant pour argument la loi islamique ..... 298
Figure 102 - Parodie d'une campagne touristique reposant sur l'attrait du volcan en éruption (A : campagne officielle, source IRT ; B : campagne déviée évoquant le prix dérisoire des amendes au regard du spectacle accessible, source anonyme, disponible en ligne http://www.zinfos974.com/Detournement-de-pub_a2682.html le 23 décembre 2008) ..... 299
Figure 103 - Représentations du risque volcanique en Grande Comore : l'écart fourni entre risque perçu et risque réel pourrait servir de base pour cibler des communautés lorsqu'elles ont peu conscience du risque .... 303
Figure 104 - Comportements (A) à éviter et (B) à adopter en cas de retombées de cendres (artiste : Ben A ; extrait de la campagne de sensibilisation aux risques volcaniques en Grande Comore) ..... 312
Figure 105 - Proposition d'interface de saisie pour une application « main courante électronique » ..... 315
Figure 106 - Architecture d'OVREX ..... 316

## TABLE DES TABLEAUX


Tableau 1 - Les événements catastrophiques liés à l'occurrence d'aléas naturels dans le monde de 1900 à 2010 classés par impacts (d'après EM-DAT, consulté le 14-07-2010) ..... 25
Tableau 2 - Les mesures de protection et d'alerte face aux aléas volcaniques ..... 30
Tableau 3 - Synthèse des principaux RETEX sur des crises volcaniques ..... 45
Tableau 4 - Etat d'avancement des modes de gestion du risque volcanique à La Réunion et en Grande Comore ..... 80
Tableau 5 - Documents consultés pour l'analyse des modes théoriques de gestion ..... 90
Tableau 6 - Grille d'entretien auprès des acteurs institutionnels pour l'analyse de la gestion théorique et de son applicabilité ..... 91
Tableau 7 - Grille d'enquête sur le quotidien des foyers de Vouvouni et du Tremblet. Les thèmes annotés d'un (GC) sont spécifiques à la Grande Comore, (RUN) à La Réunion ..... 109
Tableau 8 - Synthèse des observations syn-éruptives directes et de leurs apports (H = hélicoptère, A = avion, S = sol) ..... 112
Tableau 9 - Grilles d'observation des réponses adoptées pendant les crises ..... 113
Tableau 10 - Corpus de presse écrite comorienne disponible sur l'éruption de mai 2006 en Grande Comore (Couv.= mention en première page, format = nombre de pages) ..... 121
Tableau 11 - Détails du corpus de presse analysé sur la durée des crises faisant l'objet des RETEX ..... 122
Tableau 12 - Grille d'entretien avec les acteurs institutionnels utilisée pour la constitution des RETEX ..... 123
Tableau 13 - Grille d'entretien sur le vécu par les populations des crises liées aux aléas volcaniques ..... 124
Tableau 14 - Déroulement de l'éruption d'avril 1977 au Piton de la Fournaise ..... 136
Tableau 15 - Phénoménologie synthétique de l'éruption d'avril 1986 au Piton de la Fournaise ..... 137
Tableau 16 - Phénoménologie synthétique de l'éruption d'avril 1998 au Piton de la Fournaise (source principale : [Bachèlery 1999]) ..... 141
Tableau 17 - Phénoménologie synthétique de l'éruption de janvier 2002 au Piton de la Fournaise ..... 141
Tableau 18 - Synthèse des principaux acteurs impliqués dans la gestion des crises volcaniques à La Réunion 145
Tableau 19 - Niveaux d'alerte en cas d'éruption volcanique à La Réunion et mesures d'urgence associées en vigueur de 2005 à 2009 (d'après les données du PSS [Préfecture de La Réunion 2005]) ..... 148
Tableau 20 - Phénoménologie succincte de l'éruption d'avril 2007 au Piton de la Fournaise ..... 153
Tableau 21 - Phénoménologie éruptive dans les parties basses : comparaison entre la moyenne des éruptions récentes de la Fournaise et l'éruption d'avril 2007 ..... 154
Tableau 22 - Impacts liés à l'éruption d'avril 2007 au Piton de la Fournaise (Sources des impacts : C (coulées) / G (gaz et retombées) / E (effondrement) / T (tous : C + G + E) / I (Indirect, lié aux autres impacts) ..... 162
Tableau 23 - Synthèse des principales réponses des institutions et populations observées lors de l'éruption d'avril 2007 ..... 207
Tableau 24 - Synthèse des principaux facteurs de défaillance mis en évidence par le RETEX de l'éruption d'avril 2007 au Piton de la Fournaise ..... 208
Tableau 25 - Synthèse des principaux acteurs impliqués dans la gestion des crises volcaniques en Grande Comore (les acteurs informels sont indiqués sur fonds bleu) ..... 223
Tableau 26 - Niveaux d'alerte en cas d'éruption volcanique en Grande Comore et actions associées (Plan National de Préparation et de Réponse à l'Urgence) ..... 225
Tableau 27 - Synthèse des principaux facteurs de défaillance mis en évidence par le RETEX de l'éruption de mai 2006 ..... 248
Tableau 28 - Caractérisation synthétique de l'endommagement lié aux lahars à Vouvouni à partir de 2005 ..... 261
Tableau 29 - Articles de presse relatant les impacts des lahars d'avril 2005 à septembre 2011 ..... 268
Tableau 30 - Synthèse des principaux facteurs de défaillance mis en évidence par l'analyse des réponses institutionnelles face aux lahars consécutifs aux éruptions de 2005 ..... 269
Tableau 31 - Synthèse des réponses apportées par les populations face aux lahars à Vouvouni ..... 274
Tableau 32 - Grille des outils et mesures souhaitables pour une gestion optimisée des crises (RUN = La Réunion ; GC = Grande Comore) ..... 307
Tableau 33 - Principaux messages à délivrer pour la sensibilisation au risque volcanique en Grande Comore . 313
Tableau 34 - Principaux exercices à envisager pour une amélioration des capacités de gestion de crise à La Réunion et en Grande Comore ..... 320

# Annexes

# Annexe 1. CHRONOLOGIE DES ERUPTIONS DU PITON DE LA FOURNAISE DEPUIS 1980

Modifié d'après Roult *et al.* [2012] et complété à l'aide de la base de données de Servadio [2011] pour les éruptions de 1980 à 1985 (en italique).

Types d'événement volcanique :

E-C Eruption confinée au cratère sommital (Dolomieu or Bory)
E-CL Eruption démarrant au cratère sommital et se propageant latéralement
E-L Eruption hors cratère sommital
Co Effondrement sommital (caldera ou pit crater)
SC Crise sismique sans déformation détectée
SC-D Crise sismique avec déformation détectée
SC-T Crise sismique sans déformation détectée suivie d'un trémor
SC-DT Crise sismique avec déformation détectée suivie d'un trémor

| Type d'évent | Date Début (mm/jj) | Date Fin (jj/mm) | Durée (jours) | Localisation | Longueur (m) | Rift zone | Altitude (m) | | Superficie (Km²) | Volume ($10^6$ $m^3$) | Débit ($m^3$ $s^{-1}$) | Durée crise sismique (hhh:mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Max | Min | | | | |
| | *02/03/1981* | *25/02/81* | *22* | *Flanc N* | *1400* | | *2450* | *2067* | *1.36* | *3* | *1,58* | |
| | *02/26/1981* | *26/03/81* | *30* | *Flanc SW* | *5420* | | *2460* | *1120* | *1.67* | *4* | *1,65* | |
| | *04/01/1981* | *05/05/81* | *33* | *Flanc NE* | *5060* | | *1890* | *68* | *0.50* | *5* | *1,7* | |
| | *12/04/1983* | *18/01/84* | *37* | *Flanc SW* | *2620* | | *2147* | *1849* | *0.89* | *8* | *2,06* | |
| | *01/18/1984* | *18/02/84* | *31* | *Flanc SW* | *5600* | | *2243* | *1681* | *1.54* | *9* | *3,36* | |
| E-L | 12/01/1985 | 03/12/85 | 1,2 | Flanc S | 830 | | 2520 | 2400 | 1,462 | 0,7 | 7,0 | 00:16 |
| E-C | 12/29/1985 | 07/02/86 | 40,0 | Dolomieu W SW | 200 | | 2550 | 2550 | 0,326 | 7 | 2,0 | 00:18 |
| E-L | 03/19/1986 | 19/03/86 | 0,4 | Enclos Fouqué S SE | 3400 | | 1750 | 1720 | 0,655 | 0,5 | 14,9 | 07:56 |
| | 03/19/1986 | 23/03/86 | 3,9 | Hors Enclos Fouqué SE | 8580 | | 1070 | 870 | 1,205 | 9 | 26,7 | 23:54 |
| | 03/23/1986 | 28/03/86 | 5,3 | Hors Enclos Fouqué SE | 13550 | | 120 | 30 | 0,159 | 4 | 8,7 | 16:22 |
| Co | 03/29/1986 | 05/04/86 | 6,9 | Dolomieu SE | | | 2440 | 2440 | | | | |
| E-C | 07/13/1986 | 13/07/86 | 0,3 | Dolomieu SE | 350 | | 2470 | 2400 | 0,018 | 0,27 | 11,0 | |
| | 07/13/1986 | 13/07/86 | 0,3 | Dolomieu SE | | | 2470 | 2400 | 0,018 | 0,01 | 0,4 | 01:00 |
| E-C | 11/12/1986 | 13/11/86 | 1,0 | Dolomieu SE | 350 | N120 | 2400 | 2400 | 0,018 | 0,27 | 3,1 | 00:58 |
| E-C | 11/26/1986 | 27/11/86 | 1,3 | Dolomieu E | 400 | N120 | 2450 | 2400 | ns | 0,24 | 2,2 | 00:34 |
| E-C | 12/06/1986 | 06/01/87 | 31,0 | Dolomieu W + Dolomieu E | 190 | | 2470 | 2450 | 0,432 | 2 | 0,7 | 00:28 |
| | | | | | 440 | | 2470 | 2450 | | | | |
| E-L | 01/06/1987 | 10/02/87 | 35,0 | Flanc NE | 2660 | | 1770 | 1500 | 1,921 | 10 | 3,3 | 03:17 |
| SC | 06/02/1987 | | | | | | | | | | | 00:33 |
| E-C | 06/10/1987 | 28/06/87 | 18,5 | Dolomieu E | 400 | | 2430 | 2430 | 0,079 | 1 | 0,6 | 34:59 |
| E-L | 07/19/1987 | 20/07/87 | 1,3 | Flanc N + flanc S | 1680 | | 2130 | 1950 | 0,933 | 1 | 8,9 | 01:55 |
| E-L | 11/06/1987 | 08/11/87 | 2,0 | Flanc N | 1340 | N25-30 N | 2320 | 2020 | 0,777 | 1,6 | 9,1 | 00:09 |
| | 11/06/1987 | | | | | | 2320 | | 0,112 | | | |
| | 11/06/1987 | | | | | | 2150 | | 0,113 | | | |
| | 11/06/1987 | | | | | | 2020 | | 0,552 | | | |
| E-L | 11/30/1987 | 01/01/88 | 32,0 | Flanc S | 1150 | | 2240 | 1900 | 1,530 | 10 | 3,6 | 01:02 |
| E-L | 02/07/1988 | 02/04/88 | 55,0 | Flanc S | 2080 | N35-30 S | 2100 | 2000 | 1,816 | 8 | 1,7 | 02:00 |
| SC-D | 04/20/1988 | | | Dolomieu NE | | | | | | | | 00:31 |
| E-L | 05/18/1988 | 01/08/88 | 75,0 | Flanc N | 2030 | N25-30 N | 2200 | 1900 | 1,452 | 30 | 4,6 | 00:30 |
| E-L | 08/31/1988 | 12/09/88 | 11,4 | Flanc S SW | 2400 | N25-30 S | 2250 | 2150 | 0,880 | 4 | 4,1 | 02:25 |
| SC | 11/12/1988 | | | | | | | | | | | 00:25 |
| E-L | 12/14/1988 | 28/12/88 | 14,5 | Flanc N | 2890 | N25-30 N | 2050 | 1900 | 0,936 | 4 | | 04:36 |
| E-CL | 01/18/1990 | 19/01/90 | 0,8 | Dolomieu WE + flanc SE | 390 | ? | 2510 | 2250 | 0,397 | 0,97 | 14,0 | 00:35 |

| Type d'évent | Date Début (mm/jj) | Date Fin (jj/mm) | Durée (jours) | Localisation | Longueur (m) | Rift zone | Altitude (m) | | Superficie ($Km^2$) | Volume ($10^6$ $m^3$) | Débit ($m^3$ $s^{-1}$) | Durée crise sismique (hhh:mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Max | Min | | | | |
| E-L | 04/18/1990 | 08/05/90 | 20,4 | Flanc S SE | 3650 | ? | 1790 | 1760 | 1,428 | 8 | 4,5 | 05:44 |
| E-C | 07/18/1991 | 20/07/91 | 1,7 | Dolomieu E | 490 | | 2510 | 2300 | 0,820 | 5 | 34,4 | 00:44 |
| SC-D | 12/07/1991 | | | | | | | | | | | |
| E-CL | 08/27/1992 | 23/09/92 | 27,2 | Dolomieu W + flanc SE | 150 | N120 | 2510 | 1920 | 0,741 | 5,5 | 2,3 | 00:46 |
| SC-D | 11/26/1996 | | | | | | | | | | | 01:44 |
| SC | 08/23/1997 | | | | | | | | | | | 00:15 |
| E-L | 03/09/1998 | 21/09/98 | 196,0 | Flanc N | 1820 | N25-30 N | 2461 | 2071 | 7,879 | 60 | 3,5 | 35:27 |
| | 08/08/1998 | 15/09/98 | 37,6 | Hors Enclos Fouqué N | 5630 | N25-30 N | 1680 | 1590 | 0,531 | 0,9 | 0,3 | |
| | | | | | | | 1680 | 1680 | 0,500 | | | |
| | | | | | | | 1620 | 1620 | 0,007 | | | |
| | 08/14/1998 | 15/09/98 | 32,0 | Hors Enclos Fouqué N | | | 1590 | 1590 | 0,024 | | | |
| E-L | 03/11/1998 | 01/04/98 | 21,0 | Flanc W SW | 2220 | N25-30 N | 2211 | 2191 | 0,443 | 0,75 | 0,4 | |
| E-CL | 07/19/1999 | 31/07/99 | 11,9 | Dolomieu E + flanc E | 260 | N120 | 2501 | 2000 | 0,879 | 1,3 | 1,3 | 00:32 |
| | | | | | | | 2501 | 2501 | | 0,3 | | |
| | | | | | | | 2461 | 2400 | | 0,3 | | |
| | 07/24/1999 | 31/07/99 | | Flanc E | | | 2080 | 2000 | | 0,7 | | |
| E-CL | 09/28/1999 | 23/10/99 | 24,9 | Dolomieu W + Enclos Fouqué S | 370 | N25-30 S | 2501 | 1861 | 0,750 | 1,4 | 0,7 | 01:21 |
| | | | | | | | 2501 | 2501 | | 0,5 | | |
| | | | | | | | 2521 | 1881 | | 0,6 | | |
| | 10/11/1999 | 23/10/99 | | Enclos Fouqué S | | | 1871 | 1861 | | 0,3 | | |
| E-L | 02/13/2000 | 04/03/00 | 19,9 | Flanc N | 980 | N25-30 N | 2501 | 2231 | 1,788 | 8,2 | 4,8 | 01:04 |
| E-L | 06/23/2000 | 30/07/00 | 37,0 | Flanc E SE | 2350 | N25-30 N | 2080 | 1820 | 2,181 | 10 | 3,1 | 01:12 |
| SC | 10/06/2000 | | | | | | | | | | | 00:21 |
| E-L | 10/12/2000 | 13/11/00 | 32,7 | Flanc E SE | 910 | N120 | 2271 | 1980 | 4,074 | 9 | 3,2 | 00:56 |
| E-L | 03/27/2001 | 04/04/01 | 7,6 | Flanc S SE | 780 | N120 | 2546 | 1950 | 2,513 | 4,8 | 7,3 | 00:25 |
| E-L | 06/11/2001 | 07/07/01 | 26,0 | Flanc SE | 670 | N120 | 2481 | 1810 | 3,642 | 9,5 | 4,2 | 00:33 |
| E-L | 01/05/2002 | 16/01/02 | 10,7 | Flanc NE + Plaine des Osmondes | 3250 | | 1910 | 1070 | 2,761 | 13 | 14,0 | 06:23 |
| | 01/05/2002 | 16/01/02 | | | | | 1910 | 1830 | | | | |
| | 01/13/2002 | 16/01/02 | 3,0 | | | | 1070 | 1070 | | | | |
| E-L | 11/16/2002 | 05/12/02 | 19,5 | Flanc E | 3390 | | 1760 | 1620 | 3,625 | 8 | 4,8 | 05:18 |
| Co | 12/23/2002 | | | Dolomieu W SW | | | 2481 | | | | | 504:00 |
| E-C | 05/30/2003 | 07/07/03 | 38,3 | Dolomieu W SW | 450 | | 2491 | 2491 | 0,278 | 2,16 | 0,7 | 00:22 |
| | 05/30/2003 | 30/05/03 | 0,3 | Dolomieu W SW | | | 2491 | 2491 | | 0,16 | 5,6 | |
| | 06/04/2003 | 06/06/03 | 2,4 | Dolomieu W SW | | | 2491 | 2491 | | 0,72 | 3,4 | |
| | 06/12/2003 | 15/06/03 | 2,1 | Dolomieu W SW | | | 2491 | 2491 | | 0,59 | 3,2 | |
| | 06/21/2003 | 07/07/03 | 15,8 | Dolomieu W SW | | | 2491 | 2491 | | 0,69 | 0,5 | |
| E-CL | 08/22/2003 | 27/08/03 | 5,1 | Bory + flanc N | 650 | N25-30 N | 2591 | 2209 | 1,687 | 6,2 | 14,1 | 02:02 |
| E-L | 09/30/2003 | 01/10/03 | 0,5 | Flanc W SW | 1200 | N25-30 S | 2331 | 2196 | 0,508 | 1 | 24,5 | 01:15 |
| SC-D | 11/06/2003 | | | Flanc S SE | | | | | | | | 04:18 |
| E-C | 12/07/2003 | 25/12/03 | 18,2 | Dolomieu E SE | 380 | | 2526 | 2476 | 0,266 | 1,2 | 0.8 | 00:51 |
| E-L | 01/08/2004 | 10/01/04 | 1,1 | Plaine des Osmondes | 3760 | | 1510 | 1390 | 0,590 | 1,9 | 19.4 | 41 :28 |
| E-L | 05/02/2004 | 18/05/04 | 15,9 | Flanc S | 860 | N25-30 S | 2514 | 2011 | 3,287 | 16,9 | 12.3 | 00 :31 |
| E-CL | 08/12/2004 | 14/10/04 | 62,2 | Dolomieu | 460 | autre | 2487 | 1820 | 4,772 | 20 | 3.7 | 00 :25 |

| Type d'évent | Date Début (mm/jj) | Date Fin (jj/mm) | Durée (jours) | Localisation | Longueur (m) | Rift zone | Altitude (m) | | Superficie ($Km^2$) | Volume ($10^6$ $m^3$) | Débit ($m^3$ $s^{-1}$) | Durée crise sismique (hhh:mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Max | Min | | | | |
| | | | | WE + flanc E | | | | | | | | |
| E-L | 02/17/2005 | 26/02/05 | 9,1 | Plaine des Osmondes | 3310 | | 1700 | 600 | 4,193 | 19 | | 03 :00 |
| | | 26/02/05 | | Plaine des Osmondes | | | 1700 | 1200 | | | | |
| | 02/25/2005 | 26/02/05 | | Plaine des Osmondes | | | 600 | 600 | | | | |
| E-C | 10/04/2005 | 17/10/05 | 12,5 | Dolomieu W SW | 415 | | 2490 | 2490 | 0,348 | 2 | 1,9 | 01:05 |
| E-CL | 11/29/2005 | 29/11/05 | 0,4 | Dolomieu N + flanc N | 400 | N25-30 N | 2561 | 2411 | 0,434 | 1 | 30,9 | 00:30 |
| E-L | 12/26/2005 | 18/01/06 | 23,3 | Enclos Fouqué N + Plaine des Osmondes | 2460 | | 2071 | 1580 | 2,648 | 20 | 9,9 | 02:24 |
| | | 18/01/06 | | Enclos Fouqué N | | | 2071 | 2030 | | | | |
| | | | | Plaine des Osmondes | | | 1840 | 1750 | | | | |
| | | | | Plaine des Osmondes | | | 1670 | 1580 | | | | |
| E-L | 07/20/2006 | 14/08/06 | 25,6 | Flanc S SW | 1610 | N25-30 S | 2401 | 2121 | 0,843 | 2 | 0,9 | 01:46 |
| E-CL | 08/30/2006 | 31/12/06 | 123,6 | Dolomieu E SE | 370 | | 2501 | 1380 | 1,352 | 20 | 1,9 | |
| | 12/09/2006 | 09/12/06 | | Flanc E | | | 1500 | 1380 | | | | |
| E-CL | 02/18/2007 | 19/02/07 | 1,4 | Dolomieu WE + flanc E | 70 | | 2501 | 2501 | 0,364 | 1 | 8,6 | 00:25 |
| | | | | Flanc S | | | 2470 | 2420 | | | | |
| E-L | 03/30/2007 | 31/03/07 | 0,3 | Flanc S | 2560 | N120 | 1900 | 1900 | 0,111 | 0.6 | 20,8 | 02:40 |
| | 04/02/2007 | 01/05/07 | 29,6 | Enclos Fouqué S SE | 7420 | | 700 | 590 | 3,625 | 240 | 93,9 | 09:40 |
| Co | 04/05/2007 | | | Dolomieu | | | 2480 | 2140 | | | | |
| SC | 08/04/2008 | | | | | | | | | | | 00:40 |
| SC | 08/15/2008 | | | | | | | | | | | 02:05 |
| SC | 08/31/2008 | | | | | | | | | | | 01:08 |
| SC | 09/07/2008 | | | | | | | | | | | 00:29 |
| SC-D | 09/08/2008 | | | Dolomieu | | | | | | | | 01:10 |
| SC-T | 09/12/2008 | | | | | | | | | | | 01:08 |
| SC | 09/15/2008 | | | | | | 2381 | 2381 | 0,085 | 1 | 1,1 | 01:02 |
| E-C | 09/21/2008 | 02/10/08 | 10,5 | Dolomieu SW | 340 | | | | | | | 00:50 |
| SC-D | 10/20/2008 | | | Dolomieu | | | | | | | | 00:40 |
| SC-D | 10/31/2008 | | | Dolomieu | | | | | | | | 00:13 |
| SC | 11/06/2008 | | | | | | | | | | | 02:00 |
| SC | 11/20/2008 | | | | | | 2381 | 2381 | 0,029 | 0,1 | 1,1 | 14:00 |
| E-C | 11/27/2008 | 28/11/08 | 1,0 | Dolomieu SW | 330 | | | | | | | 00:30 |
| E-C | 12/14/2008 | 04/02/09 | 51,8 | Dolomieu E + Dolomieu N | 310 | | 2351 | 2350 | 0,088 | 1,5 | 0,3 | 16:40 |
| SC-D1 | 10/07/2009 | | | Dolomieu | | | | | | | | 02:10 |
| SC-D2 | | | | Dolomieu | | | | | | | | 02:10 |
| SC | 10/14/2009 | | | | | | | | | | | 01:10 |
| SC-DT | 10/18/2009 | | | | | | | | | | | 01:55 |
| SC | 10/30/2009 | | | | | | | | | | | 01:10 |
| E-L | 11/05/2009 | 06/11/09 | 0,3 | Flanc S SE | 610 | | 2508 | 2310 | 0,092 | 0,14 | 5,4 | 01:30 |
| | | | | | | | 2508 | 2449 | | | | |
| | | | | | | | 2386 | 2310 | | | | |
| E-L | 12/14/2009 | 15/12/09 | 0,7 | Flanc S | 570 | | 2512 | 2451 | 0,145 | 0,16 | 2,8 | 01:10 |
| | | | | | | | 2512 | 2511 | | | | |
| | | | | | | | 2514 | 2539 | | | | |
| | | | | Flanc SW | | | 2479 | 2451 | | | | |

| Type d'évent | Date Début (mm/jj) | Date Fin (jj/mm) | Durée (jours) | Localisation | Longueur (m) | Rift zone | Altitude (m) | | Superficie ($Km^2$) | Volume ($10^6$ $m^3$) | Débit ($m^3$ $s^{-1}$) | Durée crise sismique (hhh:mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Max | Min | | | | |
| SC | 12/29/2009 | | | | | | | | | | | 02:00 |
| E-C | 01/02/2010 | 12/01/10 | 9,6 | Dolomieu W | 510 | | 2503 | 2493 | 0,126 | 1,2 | 1,5 | 02:30 |
| SC | 09/19/2010 | | | | | | | | | | | 00:10 |
| SC-D1 | 09/23/2010 | | | | | | | | | | | 03:30 |
| SC-D2 | 09/23/2010 | | | | | | | | | | | 03:30 |
| E-L | 10/14/2010 | 31/10/10 | 16,4 | Flanc S | 2210 | N25-30 S | 2013 | 2001 | 0,677 | 2,8 | 1,9 | 05:35 |
| E-L | 12/09/2010 | 10/12/10 | 0,6 | Flanc N | 970 | N25-30 N | 2522 | 2360 | 0,269 | 0,53 | 9,7 | 03:05 |
| | | | | | | | 2522 | 2485 | | | | |
| | | | | | | | 2479 | 2360 | | | | 03:05 |

## Annexe 2. CHRONOLOGIE DES ERUPTIONS DU KARTHALA DEPUIS 1808

Modifiée d'après Morin *et al.* [2009]. Les éruptions indiquées en gris sont celles dont l'occurrence est incertaine.

| Année | Dates | Localisation | Type d'éruption | Coulée atteignant la mer | Surface couverte ($10^6$ m$^2$) | Volume estimé ($10^6$ m$^3$) | Sismicité ressentie | Dégâts |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2007 | 13 janvier | Choungou Chagnoumeni | magmatique sommitale | non | 0.03 | 0.1 | oui | Oui, effondrement d'1 bâtiment à Moroni suite aux séismes |
| 2006 | 28 mai au 1er juin | Choungou Chahale | magmatique sommitale | non | 0.2 | 18 | oui | non |
| 2005 | 25 nov au 8 déc | Choungou Chahale | phréatomagmatique sommitale | non | > à la moitié de l'île | >50 | oui | oui |
| 2005 | 16 au 20 avril | Choungou Chahale | phréatomagmatique sommitale | non | 2/3 de l'île | >50 | oui | oui |
| 1991 | 11 juillet | Choungou Chahale | phréatique sommitale | - | - | pas de magma | oui | oui |
| 1977 | 5 au 10 avril | Flanc sud-ouest | magmatique excentrique | oui | 1.8 | 10.8 | oui | Oui, villages de Singani et Hetsa détruits |
| 1972 | 8 sept au 5 oct. | caldeira | magmatique sommitale | non | 2.5 | 12 | - | - |
| 1965 | 12 juillet | caldeira et Choungou Chagnoumeni | magmatique sommitale | non | 0.05 | 0.15 | - | - |
| 1959 | 1er juin | Choungou Chahale | magmatique sommitale | non | - | - | - | - |
| 1952 | 10 au 14 février | Choungou Chahale | magmatique sommitale et phréatomagmatique | non | - | - | - | - |
| 1948 | 13 au 16 juin | Choungou Chahale | magmatique sommitale et phréatomagmatique | non | 16 | 6 | oui | oui |
| 1948 | 22 avril au 4 mai | Choungou Chagnoumeni | magmatique sommitale | non | - | - | - | - |
| 1941 | - | caldeira | magmatique sommitale | non | - | - | - | - |
| 1926-29 | à plusieurs reprises | caldeira | magmatique sommitale | non | - | - | - | - |
| 1918 | 25 et 26 août | Choungou Chahale | phréatique | / | 25 | pas de magma | oui | oui |
| 1918 | 11 au 13 août | rift zone nord | magmatique latérale | non | 2.7 | 10 | oui | - |
| 1910 | - | rift zone nord | magmatique latérale | - | - | - | - | - |
| 1904 | 25 fév. à avril | rift zone nord | magmatique latérale et phréatomagmatique | non | 11 | 44 | oui | oui, 1 pers. tuée |
| 1903 | - | rift zone sud-est | émissions gazeuses | / | - | - | - | oui, 17 pers. tuées |
| 1883 | mars 1883-1884 | rift zone sud-est | magmatique latérale | oui | - | - | - | Oui, 1 village détruit |
| 1880 | - | rift zone sud-est | magmatique latérale | oui | 2.4 | 10 | oui | oui |
| 1876 | - | rift zone sud-est | magmatique latérale | oui | 4 | 17 | - | Oui, 1 village détruit au Nord de Foumbouni |
| 1872 | - | rift zone nord | magmatique latérale | oui | 1.6 | 7.2 | - | - |
| 1865 | - | - | magmatique | - | - | - | oui | - |
| 1862 | - | rift zone sud-est | magmatique latérale | oui | - | - | - | - |
| 1860 | décembre | rift zone sud-est | magmatique latérale | oui | 5.5 | 30 | - | Oui |
| 1859 | - | rift zone nord | magmatique latérale | oui | 3.9 | 20 | - | - |
| 1858 | - | caldeira et rift-zone nord | magmatique latérale et phréatomagmatique | oui | 12.5 | 63 | oui | - |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1857 | - | rift zone sud-est et caldeira | magmatique latérale et sommitale | oui | 10 | 56 | - | oui |
| 1855 | juin ou juillet | rift zone sud-est | magmatique latérale et phréatomagmatique | oui | - | - | - | Oui, 30 maisons détruites |
| 1850 | - | flanc ouest-sud-ouest | magmatique excentrique | oui | - | - | - | - |
| 1848 | - | flanc sud-est | magmatique excentrique | oui | 3 | 16 | - | - |
| 1833 | - | caldeira | magmatique | - | - | - | - | - |
| 1830 | - | - | magmatique | - | - | - | - | - |
| 1828 | mai | - | magmatique | - | - | - | - | - |
| 1821 | - | - | magmatique | - | - | - | - | - |
| 1814 | - | - | magmatique | - | - | - | - | - |
| 1808 | - | - | magmatique | - | - | - | oui | - |

| Code enquête | Territoire concerné | QUEST | ENT | FGD | OBS. DIR | Thème | Public visé | date | source / collaboration pour la passation | Taille échantillon | Retour exploitable |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E-RUN1** | Tremblet | | ■ | | ■ | Syn éruptif | Population | avr-07 | J. Morin | 25 | 100 % |
| **E-RUN2** | La Réunion | ■ | | | | ALEAS profs | Elèves de collège et lycée | avr-07 | J. Morin / rectorat de La Réunion | 2000 | 97.5 % |
| **E-RUN3a (Annexe 25)** | La Réunion | ■ | | | | RETEX Maison du Volcan Opinions sur la gestion de crise d'avril 2007 | Population ; touristes | avril -mai 2007 | J. Morin / Maison du volcan via P. Huet. | 500 | 8 % |
| **E-RUN3b** | La Réunion | | ■ | | | RETEX avril 2007 | Institutionnels | 2007-2011 | J. Morin (+G. Levieux en 2008) | 90 | 100 % |
| **E-RUN4 (Annexe 5)** | Sainte-Rose / Saint-Philippe | ■ | | | | Perception/rôle de l'information dans l'évitement/le déroulement des crises | Population | 2008 | J. Morin / M. Bastian / D. Dumas | 117 | 100 % |
| **E-RUN5** | Tremblet | | ■ | ■ | ■ | Capacités/résilience | Population | 2008-2009 | J. Morin | 23 | 100 % |
| **E-RUN6 (Annexe 26)** | Sommet du volcan | ■ | | | ■ | Comportements au sommet du volcan | Touristes | 2009- 2010 | F. Jacquard / J. Morin | 264 | 100 % |
| **E-RUN7** | Saint-Philippe, Saint Paul, Salazie | ■ | | | | Représentation des risques naturels | Adultes | 2011 | CRF / A. Sahal / J. Morin | 158 | 100 % |
| | | | | | | | Enfants | | | 249 | 100 % |
| **E-GC1a** | Grande Comore | | ■ | | ■ | RETEX sur la crise de 2006 | Institutionnels, population, chefs de village) | 2006 | J. Morin | 100 | 100 % |
| **E-GC1b** | Grande Comore | ■ | | | | Représentation, pré-enquête de E-GC2 | Etudiants | mai-06 | J. Morin | 135 | 100 % |
| **E-GC2a** | Grande Comore | | ■ | ■ | | Gestion des crises, Capacités de gestion | Institutionnels, Préfets, | 2007 | J. Morin | ~30 | 100 % |
| | | | | | | | Enseignants, Population | | | ~30 | 100 % |
| **E-GC2b** | Grande Comore | ■ | ■ | | | Représentation du risque, Comportements potentiels | Enfants et étudiants ; enseignants | avril -août 2007 | J. Morin / CRCo | 3000 | 35 % |
| **E-GC2c** | Grande Comore | ■ | | | | Vulnérabilités, Capacités | Population | avr-07 | OCHA / Univ Comores / J. Morin | > 240 | 0 % |
| **E-GC3** | Grande Comore | | ■ | | | | Population | 2008 | J. Morin / J.-C. Gaillard | 10 | 100 % |
| **E-GC4 (Annexe 27)** | Vouvouni | | ■ | ■ | ■ | Capacités / RETEX lahars | Population | 2006-2009 | J. Morin / M. Trouve | 30 | 100 % |

## Annexe 4. LISTE DES PRINCIPAUX INTERLOCUTEURS INTERVIEWES SUR LES DEUX ILES

*n* : nombre d'entretiens

| | Fonction occupée | *n* | date |
|---|---|---|---|
| | ***La Réunion*** | | |
| **Scientifiques** | Chargé de la gestion de crise à l'IPGP | 2 | 2008<br>2010 |
| | Directeur des Observatoires Volcanologiques à l'IPGP | 1 | 2008 |
| | Directeur de l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise en 2007 | 2 | 2007<br>2008 |
| | Directeur de l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise depuis 2010 | 1 | 2011 |
| | Responsable technique de l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise | 2 | 2007<br>2008 |
| | Directeur de l'ORA | 1 | 2008 |
| **Autorités** | Etat-Major de Zone et de Protection Civile de l'Océan Indien (EMZPCOI) | 3 | 2007<br>2008<br>2009 |
| | Etat-Major de Zone et de Protection Civile de l'Océan Indien (EMZPCOI) | 3 | 2009<br>2010<br>2011 |
| | Adjoint de l'EMZPCOI, présent sur les lieux au début de l'éruption d'avril 2007 | 3 | 2007<br>2008<br>2009 |
| | Adjoint au chef d'Etat-major | 1 | 2010 |
| | Chargée de communication interministérielle en 2007 | 2 | 2007<br>2008 |
| | Sous-Préfet de Saint-Pierre | 1 | 2007 |
| | Chargée de sécurité au cabinet de la sous-préfecture de Saint-Pierre | 2 | 2008<br>2010 |
| | Responsable des procédures CATNAT à la préfecture | 1 | 2010 |
| | Responsable de la société d'expertise CASOI (montage des dossiers d'indemnisation) | 1 | 2010 |
| | Chef du CODIS | 1 | 2010 |
| | Commandant du SDIS | 1 | 2010 |
| | Sergent-chef caserne pompiers St-Philippe, équipe B | 2 | 2009<br>2011 |
| | Direction Générale de la Gendarmerie | 1 | 2011 |
| | Commandant de compagnie de Saint Pierre | 1 | 2011 |
| | Commandant en second de la compagnie de gendarmerie de Saint-Pierre | 1 | 2010 |
| | Responsable du COD à la gendarmerie de St Pierre | 1 | 2008 |
| | Médecin responsable de la DRASS | 1 | 2009 |
| | Responsable du service risque de la DDE | 2 | 2007<br>2010 |
| | Responsable ONF balisage / accès au volcan | 1 | 2010 |
| | Adjoint au maire de Saint-Philippe | 3 | 2007<br>2009<br>2010 |
| | Responsable du service technique de la mairie de Saint-Philippe | 1 | 2010 |
| | Employée du Centre Communal d'Action Sociale du Tremblet | 1 | 2011 |
| | DGS Mairie Sainte-Rose | 1 | 2010 |
| | Responsable du service prévention / sécurité à la mairie du Tampon | 1 | 2010 |
| **Société Civile** | Senior Cat Modeler à la Caisse Centrale de Réassurance | 2 | 2008<br>2010 |
| | Membre du CCDV | 2 | 2007<br>2009 |
| | Chargé de mission au Syndicat des accompagnateurs pour la valorisation du travail des guides indépendants | 1 | 2010 |
| | Guide a Nou | 1 | 2010 |
| | Membre dirigeant de l'Association Péi Volcan | 1 | 2010 |
| | Membre du CA de l'Association Citoyenne de St-Pierre | 1 | 2010 |
| | Responsable du Schéma d'Interprétation et de Valorisation du Volcan | 5 | 2010 |
| | Responsable du pôle écotourisme à l'ONF | 5 | 2009<br>2010<br>2011 |
| | Responsable du gîte volcan | 1 | 2008 |
| | Agent de terrain du Parc National | 2 | 2009<br>2010 |
| | Directeur du Parc National | 1 | 2010 |
| | Présidente de l'Association Réunionnaise de Victimologie | 1 | 2008 |
| | Victimologue de l'Association Réunionnaise de Victimologie | 1 | 2007 |
| | Instituteur du Tremblet | 1 | 2009 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Directrice école Tremblet | 1 | 2009 |
| | Inspecteur Pédagogique Régional pour les Sciences de la Vie et de la Terre au rectorat de La Réunion | 2 | 2007 |
| | RFO Radio journaliste | 1 | 2010 |
| | Journaliste Journal de l'Ile de La Réunion | 1 | 2010 |
| | Directeur de la PIROI et responsable du projet de prévention des risques « Paré pas Paré » | 1 | 2010 |
| | ***Grande Comore*** | | |
| **Scientifiques** | Responsable technique des Observatoires Volcanologiques à l'IPGP | 1 | 2008 |
| | Directeur de l'Observatoire Volcanologique du Karthala (OVK) | 5 | 2006-2011 |
| | Volontaire Civil à l'Aide Technique (1) de l'OVK | 1 | 2006 |
| | Volontaire Civil à l'Aide Technique (2) de l'OVK | 1 | 2008 |
| | Prévisionniste du Volcanic Ash Avisory Center de Toulouse | 1 | 2006 |
| | Ingénieur du service météorologique national (aéroport de Hahaya) | 3 | 2006<br>2007<br>2008 |
| **Autorités** | Président de la Grande Comore | 1 | 2006 |
| | Ministres de l'Intérieur, des Affaires Etrangères, et de l'Education de l'Ile et de l'Union | 6 | 2006<br>2007 |
| | Chef du COSEP | 4 | 2006<br>2007<br>2008 |
| | Responsable de la Direction Nationale de la Sécurité Civile | 2 | 2006<br>2008 |
| | Chef d'Etat-major des Armées | 1 | 2006 |
| | Responsable du Service National des Statistiques | 1 | 2006 |
| | Entretien groupé avec les Préfets de l'île | 1 | 2007 |
| | Colonel des Forces AMISEC | 1 | 2006 |
| **Société Civile** | Chefs de village et maires | 10 | 2006<br>2007<br>2008 |
| | Grand Notables | 5 | 2006<br>2009 |
| | Chef des urgences de l'hôpital El-Maarouf | 1 | 2008 |
| | Responsable technique à EGT (société de travaux publics) | 1 | 2009 |
| | Guide du volcan | 1 | 2007 |
| | Directrice et institutrice de l'Ecole Youmna à Moroni | 1 | 2006 |
| | Proviseur du lycée de Moroni | 2 | 2006<br>2007 |
| | Président de l'Université des Comores | 2 | 2006<br>2007 |
| | Ministre de l'Enseignement d'Union des Comores | 1 | 2007 |
| | Instituteurs à Moroni, Nkourani Sima | 3 | 2006<br>2007<br>2008 |
| | Journaliste ORTC | 1 | 2006 |
| | Journaliste Kashkazi | 2 | 2006<br>2007 |
| | Directeur de la PIROI | 1 | 2006 |
| | Responsable de la préparation et de la réponse aux désastres de la PIROI | 1 | 2010 |
| | Directeur du Croissant Rouge Comorien | 3 | 2006<br>2007<br>2008 |
| | Entretien groupé avec les responsables de secteur du CRCo | 1 | 2007 |
| | Responsable de la Croix Rouge Française à Moroni | 1 | 2006 |
| | Responsable du Projet de réduction des risques liés au volcan Karthala à la Croix Rouge Française de Moroni | 4 | 2007<br>2008<br>2009 |
| | Chargée (1) du Projet de réduction des risques liés au volcan Karthala à la Croix Rouge Française de Moroni | 3 | 2007<br>2008 |
| | Chargée (2) du Projet de réduction des risques liés au volcan Karthala à la Croix Rouge Française de Moroni | 2 | 2008<br>2009 |
| | Présidente du Réseau Femme et Développement | 1 | 2008 |
| | Président de la Jeune Chambre Internationale Comores | 3 | 2007<br>2008 |
| | Membre de l'association de diaspora de Vouvouni | 1 | 2008 |
| | Directeur de l'AFD de Moroni | 1 | 2007 |
| | Résidente (1) des Nations Unies à Moroni | 1 | 2006 |
| | Résident (2) des Nations Unies à Moroni | 1 | 2007 |
| | Responsable de la Sécurité des agences onusiennes en Grande Comore | 3 | 2006<br>2007<br>2008 |
| | Responsable du PNUD à Moroni | 1 | 2006 |
| | Chargés de mission OCHA à Moroni | 4 | 2006<br>2007 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | 2008 |
| | Chargée (1) des Affaires Culturelles à l'Ambassade de France à Moroni | 2 | 2006<br>2007 |
| | Chargé (2) des Affaires Culturelles à l'Ambassade de France à Moroni | 1 | 2008 |

# Annexe 5. QUESTIONAIRE "LE RISQUE VOLCANIQUE DANS LES COMMUNES DE L'EST REUNIONNAIS (E-RUN4)

**1. Date / Nom de l'enquêteur / Numéro de l'enquête**

**2. Nom de la commune**

**3. Nom du quartier**

**4. Quelles sont les trois plus grandes contraintes avec lesquelles vous vivez tous les jours?**

**5. Parmi vos réponses, vous avez dit "le volcan". Est-ce parce qu'il s'agit du thème de ce questionnaire ou est-ce une vraie contrainte pour vous?**

**6. Pourquoi le volcan est-il une contrainte pour vous?**

**7. Parmi vos réponses, vous n'avez pas cité "le volcan". Pourquoi n'est-ce pas une contrainte pour vous?**

**Sentiments face au volcan**

*Les questions suivantes concernent votre sentiment face au Piton de la Fournaise.*

**8. Pour vous quels sont les trois mots qui décrivent le mieux le volcan?**

**9. Est-ce que pour vous,le volcan présente :**

☐ un intérêt personnel ☐ un intérêt économique ☐ pas d'intérêt ☐ autres

**10. autres, précisez**

11. Pourquoi le volcan présente-il un intérêt ou non?

12. Parmi cette liste d'intérêts possibles, y en a-t-il qui vous correspondent?

- ☐ Le phénomène volcanique vous intéresse
- ☐ Les loisirs, randonnées
- ☐ Le développement du tourisme
- ☐ L'agriculture
- ☐ La géothermie
- ☐ Le piton de la Fournaise est l'identité de La Réunion
- ☐ Autres

13. Pouvez vous préciser

14. Selon vous une coulée de lave peut-elle arriver dans votre quartier?

- ☐ Je suis sûr que non
- ☐ Je ne pense pas
- ☐ Oui je pense que c'est possible
- ☐ Je suis sûr que oui

15. Est-ce que dans les 200 dernières années il y a déjà eu une coulée de lave qui est arrivée jusque dans votre quartier?

- ☐ oui
- ☐ non
- ☐ NSP

16. Avez vous peur du volcan?

- ☐ non jamais
- ☐ oui, mais juste à l'annonce de l'éruption
- ☐ oui, pendant les phases d'éruptions
- ☐ oui, tout le temps

17. En cas d'éruption, vous sentez-vous capable de vous protéger vous et votre famille, ou laissez-vous faire les autorités?

- ☐ Je me sens capable de gérer la situation moi-même
- ☐ Je laisse qqn d'autre de la famille prendre les décisions
- ☐ Je laisse faire les autorités

18. Vous sentez-vous capable de prédire une éruption volcanique?

- ☐ oui
- ☐ non

19. Selon vous, quels sont des premiers signes d'une éruption imminente?

20. Depuis combien d'années vivez-vous ici?

- ☐ Moins d'un an
- ☐ de 1 à 10 ans
- ☐ de 10 à 20 ans
- ☐ plus de 20 ans

21. Avez-vous déjà pensé à déménager à cause du volcan?

- ☐ oui
- ☐ non

22. Pourquoi?

23. Votre maison est-elle assurée multirisques pour vous protéger contre les dommages causés par les éruptions volcaniques?

- ☐ oui
- ☐ non
- ☐ NSP

24. Si oui, depuis quand?

## Expérience personnelle

*Les questions suivantes concernent votre expérience personnelle*

**25. Depuis que vous habitez dans la commune de Sainte Rose/Saint Philippe, est-ce qu'une coulée de lave a déjà menacé votre quartier?**

☐ oui ☐ non ☐ NSP

**Parmi cette liste d'éruptions, lesquelles avez-vous vécues personnellement ou suivies par l'intermédiaire des médias?**

| | vécu personnellement | suivi par l'intermédiaire des médias | autres |
|---|---|---|---|
| 26. Tremblet 1975 | ☐ | ☐ | ☐ |
| 27. Piton Sainte Rose 1977 | ☐ | ☐ | ☐ |
| 28. Takamaka, citrons galets ou pointe de la table 1986 | ☐ | ☐ | ☐ |
| 29. Bois Blanc 1998 | ☐ | ☐ | ☐ |
| 30. Bois Blanc 2005 | ☐ | ☐ | ☐ |
| 31. Tremblet 2007 | ☐ | ☐ | ☐ |

**32. Autres coulées qui vous ont marqué**

**33. Laquelle vous a le plus marquée?**

**34. Pourquoi?**

**35. Etes-vous déjà monté sur le Dolomieu?**

☐ oui ☐ non

**36. Si oui, êtes-vous monté au cratère depuis l'interdiction d'accès d'avril 2007?**

☐ oui ☐ non

**37. Vous déplaceriez-vous pour voir de la lave en fusion?**

☐ oui ☐ non ☐ NSP

**38. En cas de rapprochement de la coulée de lave de la route, restez-vous sur la RN2 pour aller voir la coulée, ou empruntez-vous les chemins forestiers?**

☐ Je reste sur la RN2
☐ Je prends les chemins forestiers
☐ Je m'équipe (chaussures solides, eau, K-way...) et je prends les chemins forestiers
☐ NSP

**39. Lors de restrictions d'accès à la coulée de lave par les autorités, êtes-vous déjà allé au-delà des interdictions?**

☐ oui ☐ non

**40. En cas de mise en place d'un chemin balisé pour aller voir la coulée de lave, resteriez-vous sur le chemin balisé, ou quitteriez-vous le chemin pour aller voir de plus près?**

☐ Je reste sur le chemin balisé ☐ Je sors du chemin ☐ Je ne me déplace pas pour aller voir la coulée

**41. Avez-vous déjà quitté le chemin balisé?**

☐ oui ☐ non

## Le volcanisme dans la région

*Les questions suivantes concernent le volcan Piton de la Fournaise*

**42. Voici 4 cartes de La Réunion. Pourriez-vous situer l'emplacement des phénomènes volcaniques sur ces cartes?**

Situez les endroits où il pourrait y avoir des coulées de laves

Situez les endroits où il pourrait y avoir des retombées de cendres

Situez les endroits où il pourrait y avoir des retombées de cheveux de pelé

Situez les endroits où il pourrait y avoir des émanations de gaz

**43. Je vais vous donner une liste des phénomènes associés à une éruption volcanique. Parmi ces phénomènes donnez-moi les 3 que vous redoutez le plus.**

- ☐ Coulées de lave lente (aa)
- ☐ Coulée de lave rapide (pahoehoe)
- ☐ Emanation de gaz
- ☐ Cheveux de pelé
- ☐ Effondrements, glissements de terrain
- ☐ Retombée de cendres

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).*

**44. D'où tenez-vous vos informations sur les phénomènes volcaniques?**

- ☐ Radio
- ☐ Livres
- ☐ Centre de Documentation et de Diffusion sur le Volcanisme
- ☐ Télévision
- ☐ Ecole, Lycée, Université
- ☐ Famille
- ☐ Journaux
- ☐ Observatoire volcanique du Piton de la Fournaise
- ☐ Amis
- ☐ Internet
- ☐ Maison du volcan
- ☐ autres

**45. Nom de la radio**

**46. Nom de la chaîne de télévision**

**47. Nom du journal**

**48. Précisez le niveau**

**49. De qui d'autre tenez-vous vos informations?**

**50. Si vous tenez vos informations d'amis ou de la famille, d'après vous, d'où tiennent-ils leur information?**

- ☐ Radio
- ☐ Livres
- ☐ Centre de Documentation et de Diffusion sur le Volcanisme
- ☐ Télévision
- ☐ Ecole, Lycée, Université
- ☐ Famille
- ☐ Journaux
- ☐ Observatoire volcanique du Piton de la Fournaise
- ☐ Amis
- ☐ Internet
- ☐ Maison du volcan
- ☐ autres

**51. autres, précisez**

**52. Que représente le Piton des Neiges pour vous?**

**53. Pensez-vous qu'il est possible qu'il entre encore en éruption?**

- ☐ oui
- ☐ non
- ☐ NSP

**Dernière éruption**

*Les questions que je vais vous poser maintenant se rapportent à la dernière éruption, celle d'avril 2007.*

**54. Etiez-vous chez vous lors de cet événement ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**55. Comment l'avez-vous vécu?**

## Gestion des éruptions volcaniques

*Les questions qui suivent portent sur les mesures à suivre lors d'une crise éruptive :*

**56. Pensez-vous avoir toutes les informations nécessaires pour savoir quoi faire en cas d'éruption?**

- ☐ oui, grâce à l'information distribuée par les autorités
- ☐ oui grâce à ma connaissance personnelle et celle de mon entourage
- ☐ NSP
- ☐ oui, grâce aux médias
- ☐ non
- ☐ autres

**57. Vous avez dit que vous n'avez pas assez d'information pour savoir quoi faire en cas d'éruption. Voudriez-vous qu'on vous donne plus d'information?**

- ☐ oui
- ☐ non

**58. Les autorités ont établi des consignes de sécurité à suivre en cas d'éruption. Les connaissez-vous ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**59. Saviez-vous qu'une plaquette d'information sur le risque volcanique existe?**

- ☐ oui
- ☐ non

**60. L'avez-vous reçue?**

- ☐ oui
- ☐ non
- ☐ NSP

**61. Si oui, de qui l'avez-vous eue?**

- ☐ Mairie
- ☐ Préfecture
- ☐ Maison du volcan
- ☐ Observatoire Volcanique du Piton de la Fournaise
- ☐ Université de la Réunion
- ☐ Aéroport
- ☐ Amis
- ☐ Famille
- ☐ Ecole
- ☐ autres

**62. L'avez-vous lue?**

- ☐ oui
- ☐ non

**63. L'avez-vous gardée?**

- ☐ oui
- ☐ non
- ☐ NSP

**64. L'avez-vous bien comprise?**

- ☐ oui
- ☐ non
- ☐ NSP

**65. Souhaiteriez-vous qu'elle existe aussi en créole?**

- ☐ oui
- ☐ non

*Les questions qui suivent concernent les phases d'alerte et d'évacuation.*

**66. Une phase d'alerte est déclenchée, que faites-vous?**

**67. Si ensuite l'évacuation est déclenchée, que faites-vous?**

- ☐ J'attends les bus d'évacuation
- ☐ Je prends mes affaires et je pars par moi-même
- ☐ Je reste
- ☐ autres

**68. Durant l'éruption, vous tenez-vous informé de la situation?**

- ☐ oui
- ☐ non

69. De qui tenez-vous les informations durant l'éruption?

- ☐ Télévision
- ☐ Radio
- ☐ Journaux
- ☐ Observatoire Volcanique du Piton de la Fournaise
- ☐ Famille
- ☐ Amis
- ☐ Mairie
- ☐ Préfecture
- ☐ en allant voir vous-même
- ☐ autres

70. autres, précisez

71. Pour vous, quel est le rôle de l'Observatoire volcanique du Piton de la Fournaise?

72. En ce qui concerne la gestion des éruptions, parmi cette liste, citez-moi les 3 acteurs en qui vous faites le plus confiance.

- ☐ Observatoire volcanique du Piton de la Fournaise
- ☐ Préfecture
- ☐ la population elle-même
- ☐ Mairies
- ☐ Office national des forêts (ONF)
- ☐ autres
- ☐ Gendarmerie
- ☐ les médias

73. Autres, précisez

74. Pourquoi leur faites-vous confiance?

75. Estimez-vous qu'on vous dit la vérité sur les risques auxquels vous êtes exposés?

- ☐ oui
- ☐ non
- ☐ NSP

76. Expliquez pourquoi (en quelques mots).

77. D'après vous qui est tenu d'informer la population sur les risques encourus?

78. A qui faites-vous confiance pour vous informer des risques volcaniques auxquels vous êtes exposé?

- ☐ Télévision
- ☐ Observatoire Volcanique du Piton de La Fournaise
- ☐ Mairies
- ☐ Journaux
- ☐ Famille
- ☐ Préfecture
- ☐ Dans le cursus scolaire
- ☐ Amis
- ☐ Autres

79. Qui d'autres?

**Fiche signalétique**

*Je vous rappelle que cette enquête est anonyme, mais nous avons besoin de quelques renseignements qui vous concernent et qui n'apparaîtront pas dans les résultats :*

**80. Âge (exact)**

**81. Dans quelle classe d'âge vous situez-vous?**

- ☐ 0-19
- ☐ 20-39
- ☐ 40-59
- ☐ 60 et +

**82. Sexe**

- ☐ homme
- ☐ femme

**83. Avez-vous un moyen de transport?**

- ☐ voiture
- ☐ camionette
- ☐ moto
- ☐ vélo
- ☐ autres

**84. autres, précisez le moyen de transport.**

**85. Travaillez-vous actuellement?**

- ☐ oui
- ☐ non

**86. Si vous travaillez, quelle est votre profession ou occupation?**

- ☐ Indépendant
- ☐ Salarié

**87. Si indépendant, êtes-vous?**

- ☐ agriculteur/pêcheur
- ☐ commerçant
- ☐ artisan
- ☐ profession libérale
- ☐ autre

**88. autre profession indépendante, précisez**

**89. Si salarié, êtes-vous?**

- ☐ Directeur, cadre supérieur
- ☐ cadre moyen, agent de maîtrise
- ☐ employé
- ☐ autre
- ☐ enseignant
- ☐ technicien
- ☐ ouvrier

**90. Autres profession salariée, précisez:**

**91. Si vous ne travaillez pas actuellement, êtes-vous?**

- ☐ au foyer
- ☐ au chômage
- ☐ autre
- ☐ étudiant
- ☐ retraité

**92. autres, précisez**

**93. Si vous ne travaillez pas actuellement, d'où tenez-vous vos revenus?**

94. Si vous êtes retraité, quelle était votre profession ou occupation?

95. Quel est le dernier diplôme que vous avez obtenu ?

- ☐ Aucun diplôme
- ☐ BEPC, certificat de fin d'études
- ☐ BEP, CAP
- ☐ Baccalauréat
- ☐ Premier cycle (BAC + 2)(DEUG, BTS, DUT)
- ☐ Deuxième cycle (Licence, Maîtrise)
- ☐ Troisième cycle (Thèse)
- ☐ Autre

96. Autre, précisez

97. On veut améliorer la façon d'informer les habitants des communes de Sainte Rose/Saint Philippe sur le risque volcanique. Désolé si la question que je vais vous poser est indiscrète, mais savez-vous lire?

- ☐ oui
- ☐ non

98. Quelle est votre religion ?

99. Etes-vous propriétaire ou locataire?

- ☐ propriétaire
- ☐ locataire

100. Quelle est votre situation familiale ?

- ☐ En famille (jeunes)
- ☐ En couple
- ☐ Célibataire

101. Avez-vous des enfants ?

- ☐ oui
- ☐ non

102. Si oui, combien?

103. Combien sont en bas âge (en-dessous de 6 ans)?

104. Merci pour votre collaboration.
Si vous souhaitez que je vous tienne informé(e) de la poursuite de ces travaux, vous pouvez me laisser vos coordonnées.

## Annexe 6. QUESTIONNAIRE SUR LA PERCEPTION DU KARTHALA PAR LES ENFANTS (E-GC2B)

**Classe :**
**Age :**
**Garçon ou fille ? :**
**Travail de ton papa :**
**Travail de ta maman :**
**Quelle ville habites- tu ? :**

**Le Karthala c'est quoi pour toi ?**

**Est-ce que le Karthala te fait peur ? Explique pourquoi.**

**Est-ce que tu penses que le Karthala est dangereux pour les gens ? Explique pourquoi.**

**Est-ce que tu penses que le Karthala est dangereux pour les maisons ? Explique pourquoi.**

**Si tu sais, explique ce qu'est une éruption.**

**D'après toi, pourquoi des fois le Karthala se réveille ?**

**D'après toi quand est-ce que le Karthala va faire une nouvelle éruption ?**

**Quand il y a une éruption, comment est-ce que tu es au courant ?**

**Quand tu sais qu'il y a une éruption au Karthala qu'est-ce que tu fais ?**

**D'après toi, comment on peut se protéger d'une éruption du Karthala ?**

**Qu'est-ce qui t'embête le plus quand il y a une éruption ?**

**Quand tu te poses des questions sur le volcan, à qui est-ce que tu demandes des informations ?**

**Qu'est-ce que tu voudrais savoir sur le Karthala ?**

**Si tu as envie d'apprendre des choses, tu préfères :**

- □ Des gens qui viennent parler
- □ Une exposition
- □ Un livre
- □ Un film

**Tourne la feuille**
**et dessine le Karthala comme toi tu l'imagines**

# Annexe 7. QUESTIONNAIRE ENSEIGNANTS "RISQUES NATURELS EN GRANDE COMORE" (E-GC2B)

**Préfecture :** **Date :**

**Ville / village :**

**Etablissement :**

**Classe :**

**Nombre d'élèves répondant au questionnaire :**

**Réaction des élèves par rapport à la démarche :**

- ☐ intérêt
- ☐ désintérêt
- ☐ concentration
- ☐ agitation
- ☐ effort de travail individuel
- ☐ communication avec les camarades
- ☐ difficultés à comprendre seuls les questions
- ☐ autre comportement, précisez :……..

**Vos élèves évoquent-ils souvent le Karthala, dans leurs discussions ou leurs devoirs ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Vous posent-ils souvent des questions au sujet du Karthala ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Si oui, êtes-vous en mesure de leur répondre ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Selon vous, comment perçoivent-ils le Karthala ?**

- ☐ une menace
- ☐ une ressource économique
- ☐ une manifestation divine
- ☐ un lieu touristique
- ☐ un patrimoine culturel
- ☐ rien de particulier
- ☐ autre : ……..

**Vous arrive-t-il de leur parler des volcans en classe ? De quoi parlez-vous ? Seulement du Karthala ou des volcans en général ?**

**Avez-vous déjà emmené vos élèves au sommet du Karthala ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Envisagez-vous de le faire à l'avenir ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Vous-même y êtes-vous déjà allé(e)?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Avez-vous déjà emmené vos élèves à l'Observatoire Volcanologique du Karthala ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Envisagez-vous de le faire ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Vous-même y êtes-vous déjà allé(e)?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Pensez-vous que plus d'informations sur le volcan seraient nécessaires pour vous, les élèves, les Comoriens en général ? Pourquoi ? Quel type d'information ?**

**Voici les questions qui ont été soumises à vos élèves, merci d'y répondre à votre tour :**

## VOTRE LIEU DE VIE FACE AUX RISQUES NATURELS

**Pour vous, qu'est-ce qu'un risque naturel ?**

**Certaines personnes habitent dans des endroits exposés aux risques naturels. Dans quelle situation vous trouvez-vous personnellement ?**

- ☐ j'habite dans un endroit exposé aux risques naturels
- ☐ j'habite dans un endroit qui n'est pas exposé aux risques naturels
- ☐ je ne sais pas

**Selon vous, quels types de risques naturels menacent le plus l'endroit où vous vivez ?**

- ☐ sécheresse
- ☐ cyclone
- ☐ séisme
- ☐ inondation
- ☐ érosion du littoral
- ☐ incendie de forêt
- ☐ glissement de terrain
- ☐ coulée de boue
- ☐ éruption volcanique
- ☐ tsunami
- ☐ aucun de ces risques
- ☐ je ne sais pas

**Si vous avez coché plusieurs cases à la question precedente, quel est selon vous le risque le plus important ?**

## LE KARTHALA ET VOUS

**A quoi vous fait penser le Karthala (donnez 3 mots) ?**

**Pour vous qu'est-ce qu'un volcan ?**

**Pour vous qu'est-ce qu'une éruption ?**

**Qu'est-ce qui peut selon vous expliquer le réveil du Karthala ?**

**Qu'est-ce le Karthala représente pour vous ?**

**Qu'est-ce que le massif de la Grille représente pour vous ?**

**Etes-vous déjà allé(e) au sommet du Karthala ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Peut-on voir le Karthala depuis chez vous ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Considérez-vous que le Karthala est dangereux pour vous ou votre famille ? Expliquez pourquoi.**

**Considérez-vous que le Karthala est dangereux pour vos biens (maison…) ? Expliquez pourquoi.**

**D'après vous, le Karthala peut-il être une source de richesse ? Précisez pourquoi.**

## LES ERUPTIONS DU KARTHALA

**Connaissez-vous les signes qui annoncent qu'une éruption va bientôt se produire ? Décrivez-les.**

**Selon vous, quels types d'éruption peut produire le Karthala ?**

**Quelle éruption du Karthala vous a le plus marquée ?**

**Quelles éruptions avez-vous vécu ?**

- ☐ 1977 (Singani)
- ☐ 1991
- ☐ avril 2005
- ☐ novembre 2005
- ☐ mai 2006
- ☐ janvier 2007

**Pensez-vous que le Karthala a un lien avec le Piton de la Fournaise à la Réunion ?**

**Lorsque le Karthala entre en éruption, que faites-vous ?**

**Lorsqu'une éruption se produit, comment l'apprenez-vous ?**

- ☐ télé
- ☐ radio
- ☐ journal
- ☐ famille
- ☐ gens dans la rue
- ☐ je m'en aperçois moi-même
- ☐ autre :

**La zone où vous habitez peut-elle être menacée si le Karthala entre en éruption ?**

- ☐ oui
- ☐ non

**Indiquez les phénomènes par lesquels vous vous sentez menacé(e)**

- ☐ coulées de lave
- ☐ retombées de cendres
- ☐ retombées de blocs
- ☐ coulées de boue
- ☐ glissement de flanc
- ☐ explosion volcanique sur le littoral
- ☐ tsunami d'origine volcanique
- ☐ émanations de gaz

**Est-ce que :**

- ☐ le volcan est une préoccupation majeure pour vous,
- ☐ ou, considérez-vous plutôt que d'autres problèmes sont plus importants ? Précisez : ……

## LA GESTION DU RISQUE VOLCANIQUE

**Qui s'occupe de la surveillance du Karthala ?**

**Quel organisme s'occupe de la protection des populations en cas d'éruption ?**

**Le volcan entre en éruption : que faites-vous ?**

- ☐ **j'évacue avant même qu'on me le demande**
- ☐ **j'évacue quand on me le demande**
- ☐ **j'évacue seulement sous certaines conditions, précisez : …..**
- ☐ **je refuse d'évacuer**

**Quel que soit votre décision, quel avis suivez-vous en priorité ? Celui :**

- ☐ **des médias**
- ☐ **des scientifiques**
- ☐ **du gouvernement**
- ☐ **de ma famille**
- ☐ **du chef religieux**
- ☐ **mon propre avis**

**Si vous refusez d'évacuer, pouvez-vous expliquer pourquoi ?**

**Avez-vous déjà cherché des informations sur le Karthala ? Si oui, où ?**

**Que cherchiez-vous à savoir ?**

**Seriez-vous intéressé(e) par des informations sur la prévention des risques volcaniques ?**

- ☐ **oui**
- ☐ **non**

**Selon vous, quels moyens seraient les plus utiles pour donner des informations sur le Karthala ?**

- ☐ conférence / débat
- ☐ exposition
- ☐ exercice pratique
- ☐ distribution de documents imprimés
- ☐ vidéo
- ☐ autre : ……

**La gestion des éruptions par les autorités et les scientifiques vous satisfait-elle ? Précisez pourquoi.**

**Selon vous les médias transmettent-ils une information fiable pendant les éruptions ?**

**Pendant une éruption, par quel moyen préférez-vous être informé(e) de l'évolution de la situation ?**

## LE KARTHALA EN DESSINS

**Dessinez ou schématisez brièvement ce que représente le Karthala pour vous** ***[suivi d'une page blanche]***

Délimitez puis coloriez ou hachurez la zone de la Grande Comore qui selon vous est **la plus menacée** par le volcan :

Délimitez puis coloriez ou hachurez la zone de la Grande Comore qui selon vous est **la moins menacée** par le volcan :

**Vous avez défini la zone très menacée et la zone peu menacée. D'après vous, est-ce que toute l'île peut être menacée un jour ou l'autre par le volcan ?**

**Pensez-vous qu'une éruption du Karthala pourrait toucher les autres îles de l'Union des Comores, ou même des territoires plus éloignés ? Si oui, jusqu'où et de quelle manière ?**

**Si vous souhaitez recevoir des informations sur cette étude, n'hésitez pas à nous laisser vos coordonnées :**

# Annexe 8. ENQUETE DE VULNERABILITE MENEE AVEC OCHA EN MAI 2007 (E-GC2C)

**A. DESCRIPTION DU MENAGE**

1. Age du Chef de famille :.....
2. Age de la femme :.....
   - Première :.....
   - Deuxième :.....
3. Nombre de personnes dépendantes
   - Nombre d'enfants garçons :.....
   - Nombre d'enfants filles :.....
   - Nombre des autres :.....
4. Nombre d'enfants scolarisés
   - Primaire :.....
   - Secondaire :.....
   - Autre :.....
5. Avez-vous un membre de la famille vivant à l'étranger
   - ☐ Europe
   - ☐ Madagascar
   - ☐ Tanzanie
   - ☐ Autres
6. Emploi du Chef de famille :.....
7. Emploi de la femme :
   - Première :.....
   - Deuxième :.....
8. Revenu mensuel du ménage
   - Chef de famille
     - ☐ moins de 10 000
     - ☐ entre 10-30 000
     - ☐ plus de 50 000
   - Revenus des épouses :
     - ☐ moins de 10 000
     - ☐ entre 10-30 000
     - ☐ plus de 50 000
   - Revenu total des membres de la famille qui travaillent
     - ☐ moins de 10 000
     - ☐ entre 10-30 000
     - ☐ plus de 50 000
   - Aide envoyée par le membre de la famille vivant à l'étranger
     - ☐ moins de 10 000
     - ☐ entre 10-30 000
     - ☐ plus de 50 000

**B. HABITAT ET BIENS DU MENAGE**

9. Type de la maison principale
   - ☐ Maison en dur
   - ☐ Non permanente (tôle ou paillotte)
10. Nombre de chambres à coucher :
11. Y-a-t-il d'autres constructions dans la concession ?.....
12. Si oui, pour quelle utilisation :.....
13. Disposez-vous du téléphone (précisez combien) ?
    - ☐ Cellulaire :
    - ☐ CDMA :
    - ☐ Fixe :
14. Disposez-vous d'un téléviseur ?.....
15. Quelles TV recevez-vous ?
    - ☐ National
    - ☐ Local/communautaire
    - ☐ Satellite
16. Avez-vous de l'électricité ?.....
17. Avez-vous une voiture ?.....

**C. BETAIL, AGRICULTURE, NOURRITURE**

18. La famille dispose-t-elle d'un champ ?.....
19. Le champ est-il au village ou loin ?.....
20. Le champ est-il plus haut sur la montagne ?.....
21. La famille a-t-elle plus d'un champ ?.....
22. Si oui, combien ?.....
23. Combien la famille possède-t-elle de :
    - Vache.....
    - Chèvre.....
    - Mouton.....
    - Poules.....
24. La famille a-t-elle de la nourriture en stock ?
    - ☐ Riz
    - ☐ Manioc
    - ☐ Banane
    - ☐ Autres :.....
25. Cette nourriture peut durer combien de jours ?.....
26. Combien de repas la famille prend-elle par jour ?.....
27. Combien de fois les enfants mangent-ils par jour ?.....

**D. EAU, HYGIENE ET SANTE**

28. La famille dispose-t-elle d'une citerne ?.....
29. Si oui est-elle couverte ?.....
30. Désinfectez-vous l'eau de la citerne ?.....
31. Si oui, comment ?.....
32. Si la famille n'a pas de citerne, où se ravitaille-t-elle ?
    - ☐ Citerne communautaire
    - ☐ Citerne du voisin
    - ☐ Autres :
33. Avez-vous vu des enfants tomber dans des citernes ?.....
34. Y-a-t-il des maladies de la peau dans votre famille ?.....
35. Combien de sceaux d'eau la famille utilise-t-elle par jour ?.....
36. La famille dispose-t-elle de latrines ?.....
37. Quel est le mode de cuisson des aliments ?
    - ☐ Bois
    - ☐ Charbon
    - ☐ Réchaud à pétrole

**E. VIVRE AVEC LE VOLCAN**

38. Avez-vous peur du Karthala ?.....
39. Avez-vous vu une éruption (décrire) ?.....
40. Que feriez-vous si le Karthala entrait en éruption ?.....
41. Le Karthala peut-il détruire vos biens ? .....
42. Lesquels et comment ?.....
43. Est-il vrai que *Dzaha Kariwara Dzaha* et en êtes-vous si sûr ?.....
44. Comment peut-on gagner sa vie avec le volcan ?.....
45. L'avez-vous fait ou bien connaissez-vous des gens qui le font et comment ?.....
46. Y-a-t-il des risques à le faire, lesquels ?.....
47. Les terres du volcan sont-elles fertiles ?.....
48. Expliquez comment vous en profitez :.....
49. Comment peut-on s'informer sur le Karthala ?.....
50. Le Karthala est-il un bien ou un malheur pour les Comores ?.....

# Annexe 9. DETERMINATION DU NIVEAU DES RETEX MENES EN FRANCE

Le MIAT [2006b] définit un événement en fonction de son degré de gravité (étendue des dommages : impact humain, notamment par le nombre de victimes, atteintes aux biens et à l'environnement, impact médiatique, difficultés rencontrées dans le retour à la normale de la vie collective) et de son degré de nouveauté (fonction de la fréquence d'occurrence de l'événement).

| **Degré de gravité** | **Signification** |
|---|---|
| Faible | L'étendue des dommages est faible, l'événement a été géré avec les plans et les procédures existantes |
| Moyen | L'étendue des dommages est moyenne, l'événement n'a nécessité qu'une faible adaptation des plans existants |
| Fort | L'étendue des dommages est très importante et la gestion de l'événement a nécessité de mettre en place de nouvelles procédures et une nouvelle organisation |
| **Degré de nouveauté** | **Signification** |
| Faible | Evénement qui se produit régulièrement. |
| Moyen | Evénement qui se produit de temps en temps |
| Fort | Evénement qui se produit rarement ou ne s'est jamais produit dans le département |

Trois niveaux de RETEX sont définis en fonction de ces critères de gravité et de nouveauté :

- le RETEX de niveau 1 (qui correspond globalement à un événement sans gravité ni nouveauté, n'ayant pas nécessité le déclenchement d'une cellule de commandement en Préfecture) est caractérisé par une simple « fiche d'événement ». Il permet de définir des indicateurs et de détecter des tendances d'évolution pour des incidents ou des accidents qui ne font pas traditionnellement l'objet de la formalisation d'un retour d'expérience.
- le niveau 2, consécutif à tout exercice ou gestion d'événement de sécurité civile, représente la grande majorité des RETEX. Il implique l'élaboration d'une note de synthèse d'événement qui inclut une description détaillée de l'événement, une chronologie des événements, une synthèse thématique (pré-, syn- et post- événement) portant sur des analyses technique, humaine, organisationnelle, juridique. Ces renseignements sont tirés des données produites par les acteurs de la gestion (mains courantes…) et d'entretiens individuels conduits avec eux. Enfin, une réunion d'échange sur les enseignements tirés de la gestion de l'événement doit permettre de valider collectivement le RETEX et de lancer un plan d'action pour l'amélioration de la gestion.
- Le niveau 3 concerne les événements qui apportent le plus de d'enseignements, soit qu'ils se révèlent totalement nouveaux, soit qu'ils ont entraîné des dommages très importants (gravité forte couplée à une nouveauté moyenne à forte ou gravité moyenne couplée à une nouveauté forte). Ce niveau de RETEX implique en plus la réalisation d'un diagramme causes-conséquences et la formalisation des fils conducteurs et des cycles de décision. Par rapport aux retours d'expérience de niveaux 1 et 2, le premier objectif de la valorisation du niveau 3 est de faire évoluer les textes

réglementaires, les plans de prévention (PPRI, PPRN), le dispositif ORSEC et les formations des acteurs à la lumière des événements et des difficultés rencontrées lors de leur gestion opérationnelle. La représentation graphique des situations redoutées (causes, conséquences et barrières) constitue également un support de valorisation efficace pour permettre à un ensemble d'acteurs de partager une connaissance commune.

# Annexe 10. L'ERUPTION DE MAI 2006 EN GRANDE COMORE DANS LA PRESSE

## Détail du corpus de presse écrite

(Couv.= mention en première page ; format = nombre de pages)

| | Journal | Date | Titre | Couv. | Format |
|---|---|---|---|---|---|
| Comores | Al-Watwan | 02-08/06/2006 | La lave est restée au niveau du plancher | x | 1 p (/ 8) |
| | La Gazette des Comores | 30/05/2006 | Eruption du Karthala - Un lac de lave se forme au fond du cratère Chahalé | x | ½ p (/ 4) |
| | Kashkazi | 01-07/06/2006 | Karthala - Le volcan menace - Un lac de lave est en ébullition depuis dimanche | x | ½ p (/ 20) |
| | Kashkazi | 8-14 juin 2006 | Ngazidja Au plus près du Karthala | x | 1 p (/ 20) |
| La Réunion | Le Quotidien de La Réunion | 30/05/2006 | Comores : éruption du Karthala - Un lac de lave dans le cratère | | ½ p |
| | Le Quotidien | 31/05/2006 | Comores : éruption du Karthala - Etat de vigilance | | encart |
| | Le Quotidien | 01/06/06 | Comores : éruption du Karthala - Situation stable | | encart |
| | Le Journal de l'Ile de La Réunion (JIR) | 30/05/2006 | Grande Comore : troisième éruption du Karthala en un an | | 2 p |
| | Le JIR | 01/06/2006 | Comores : nouvelle mission au sommet du Karthala. Pas de coulées en dehors du cratère | | ½ p |
| | Le JIR | 02/06/2006 | Comores - L'éruption du Karthala est sans doute déjà terminée | | ½ p |
| | Le JIR | 03/06/2006 | Après son éruption éclair - Le Karthala a perdu un tiers de sa profondeur | | ½ p |
| Maurice / Seychelles | le mauricien | 30/05/2006 | Paul Bérenger fait Grand Officier de l'Etoile d'Anjouan | | 11 lignes |
| | le mauricien | 01/06/2006 | Union des Comores - Eruption du Karthala : la vigilance reste de mise | | ½ p |
| | l'express | 30/05/2006 | Comoros volcano bubbles, residents wait | | ¼ p |
| | Seychelles Nation | 30/05/2006 | Comores - Un lac de lave s'est formé dans le cratère du Karthala | | 1/5 p |
| | L'express | 01-06/06/2006 | Comores - Le Karthala toujours en éruption magmatique | | ½ p |

## Détail des dépêches de presse

| Dépêches | Date | Heure | Titre | mots |
|---|---|---|---|---|
| AFP | 01/06/2006 | 16 :49 | Comoros volcano fizzles after eruption | 303 |
| AFP | 01/06/2006 | 17 :18 | Fin de l'éruption du volcan Karthala aux Comores | 274 |
| Ouest France | 30/05/2006 | / | L'Onu coordonne les ONG pour organiser les secours | 179 |
| AFP | 30/05/2006 | 10 :13 | Comoros on alert as volcano simmers | 308 |
| Reuters | 29/05/2006 | 11:12 | LEAD 1 Eruption du volcan Karthala sur la Grande Comore | 300 |
| AFP | 29/05/2006 | 14 :23 | Lava bubbles in Comoros volcano, little risk seen | 337 |
| AFP | 29/05/2006 | 12:41 | Un lac de lave s'est formé dans le cratère du Khartala aux Comores | 205 |
| AFP | 29/05/2006 | 17 :57 | Aktivität des Vulkans Karthala verunsichert Bewohner auf Komoren | 197 |
| Reuters | 29/05/2006 | 01 :49 | Eruption du volcan Karthala sur la Grande Comore | 209 |
| AFP | 28/05/2006 | 22 :42 | Comoros volcano erupts | 195 |
| AFP | 28/05/2006 | 21 :50 | Comores: éruption du volcan Karthala | 234 |
| ABC News Now | 02/06/2006 | / | COMOROS ISLANDS VOLCANO ERUPTION EERIE RED CLOUDS OVER THE INDIAN OCEAN | 203 |
| All Africa | 08/05/2006 | / | Le Karthala s'est calmé | 198 |
| Reuters News | 02/06/2006 | 17:45 | Comoros volcanic eruption stops, risk eases | 263 |
| Travel News Now | 31/05/2006 | / | Comores volcano - no emergency yet | 163 |
| All Africa | 31/05/2006 | 18:38 | Comoros volcano bubbles, residents wait | 379 |
| Süddeutsche Zeitung | 30/05/2006 | / | Panik nach Vulkanausbruch | 86 |

| Dépêches | Date | Heure | Titre | mots |
|---|---|---|---|---|
| Süddeutsche Zeitung | 30/05/2006 | / | DIE FRAGE; Warum brechen derzeit so viele Vulkane aus? | 110 |
| Reuters News | 30/05/2006 | 11:58 | Comoros volcano eruption settles down - for now | 431 |
| Geelong Advertiser | 30/05/2006 | / | Comoros on alert as Mt Karthala bubbles | 141 |
| Die Presse | 30/05/2006 | / | Massenflucht vor drohenden- Lavaströmen | 200 |
| BBC Monitoring Africa | 30/05/2006 | 11:38 | Vulcanologists issue assurance over Comoran volcano | 71 |
| All Africa | 30/05/2006 | 15:52 | Glowing Karthala Puts Authorities On Alert | 430 |
| Norsk Telegrambyrå | 29/05/2006 | 12:57 | Flykter fra vulkanutbrudd på Komorene | 95 |
| Reuters News | 29/05/2006 | 10:30 | FACTBOX-Comoros' Mount Karthala volcano | 292 |
| Reuters News | 29/05/2006 | 10:09 | UPDATE 1-Comoros volcano bubbles, residents wait in fear | 471 |
| Reuters - Noticias Latinoamericanas | 29/05/2006 | 19:51 | Volcán en Comoras muestra más actividad, residentes asustados | 507 |
| Irish Times | 29/05/2006 | | Other World Stories In Short. | 432 |
| Dow Jones International News | 29/05/2006 | 10:49 | Volcano Spews Smoke, Lava In The Comoros - Official | 260 |
| Charleston Gazette | 29/05/2006 | / | Volcano in island chain spews smoke, lava | 75 |
| BBC Monitoring Africa | 29/05/2006 | 20:38 | Lake of lava forms in Comoros volcano | 64 |
| Associated Press Newswires | 29/05/2006 | 10:26 | Volcano spews smoke, lava in the Comoros as dozens flee their homes | 268 |
| Associated Press Newswires | 29/05/2006 | 10:26 | Volcano Spews Smoke, Lava in the Comoros | 188 |
| AP German Worldstream | 29/05/2006 | 11:34 | Vulkan auf den Komoren ausgebrochen | 105 |
| Anadolu Ajansı | 29/05/2006 | / | KOMOR ADALARINDAKİ YANARDAĞ PATLADI | 85 |
| AFP | 29/05/2006 | 17:57 | Aktivität des Vulkans Karthala verunsichert Bewohner auf Komoren | 197 |
| Norsk Telegrambyrå | 29/05/2006 | 00:49 | Vulkanutbrudd på Komorene | 132 |
| ANP Multimedia | 29/05/2006 | 00:40 | Vulkaan op Comoren spuwt lava | 150 |
| ANP Infonet | 29/05/2006 | 00:38 | Vulkaan op Comoren spuwt lava (2) | 160 |
| ANP Infonet | 28/05/2006 | 23:55 | Vulkaan op Comoren spuwt lava | 81 |
| Reuters - Noticias Latinoamericanas | 28/05/2006 | 22:45 | Volcán de Comoras escupe lava, residentes huyen | 230 |
| Reuters News | 28/05/2006 | 21:37 | UPDATE 3-Comoros volcano erupts, spews lava | 424 |

# Annexe 11. LA CRISE DE 1986 AU PITON DE LA FOURNAISE

**Bilan des dommages**

Les dégâts immobiliers se chiffrent à 1,2 millions de francs : 8 maisons ont été détruites par les coulées, 2 lézardées lors de la phase éruptive de la Pointe de la Table, et une envahie par les eaux la ravine Citrons Galets dont le lit a été comblé et détourné par la coulée. Les crues plus fortes qu'à l'ordinaire provoquent des dégâts sur les terrains habités et, en février 1987, emportent la RN2 provisoire au niveau de la ravine Takamaka. Le coût des dégâts fonciers s'élève à 198 864 Francs[211] pour les 300 ha recouverts par les coulées, appartenant essentiellement au Département. 27,7 ha de terrains privés répartis entre 10 propriétaires sont concernés, dont 24,2 ha de « terres sous bois », souvent plantées de vanilliers, et 3,5 ha de canne à sucre. Des cultures et la végétation dans les Hauts du Tremblet, à la Crête (Saint-Joseph) et même jusqu'à Petite-Ile sont endommagées par les pluies acides liées au panache éruptif de Takamaka. La perte des cultures coûte 1 335 050 Francs[212] (56% en vanille, 27 % en palmistes, 8% en canne à sucre, 8% en vergers). Ces estimations donnent une bonne idée de l'économie agricole de la zone. « *Pour importants qu'ils soient, les dégâts demeurent, dans l'absolu, limités. La région est pauvre, l'implantation humaine linéaire et perpendiculaire aux coulées, les gens démunis.* » [Bertile 1987].

**Détails sur le dispositif opérationnel**

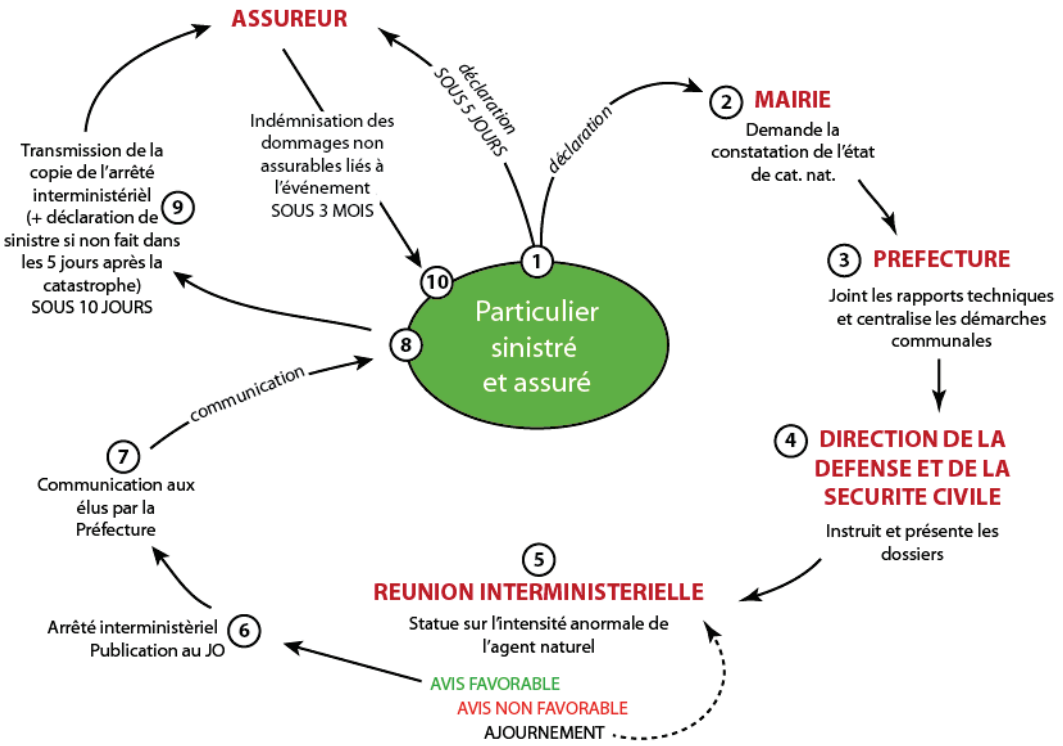
Dès le lancement de la première évacuation le 20 mars, des cars et camions communaux, mais aussi des voitures de particuliers (pour certains spontanément venus des communes voisines en apprenant les événements via RFO), évacuent les habitants mais aussi leurs meubles et effets personnels. 30 familles (soit 125 personnes) sont accueillies dans un centre d'hébergement à l'école de la Marine à Saint-Philippe, les autres trouvent refuge chez des parents et amis à Saint-Philippe (pour les 2/3 d'entre elles) ou ailleurs. L'évacuation terminée, la circulation est interdite entre Saint-Philippe et Bois Blanc. Le plan ORSEC se met en place dans un PC fixe à la Préfecture à Saint Denis et un PC opérationnel à la mairie de Saint-Philippe sous la responsabilité du Sous-Préfet de Saint Pierre. Le 23 mars, 181 personnes de plus sont évacuées d'une zone allant de l'Ilet-aux-Palmistes jusqu'à la ravine d'Ango lorsque les fissures apparaissent sur la route. Le 27 mars, la DDE et le RSMA ont déjà réalisé un passage provisoire dans la coulée et posé des plaques d'acier sur les fissures de la RN2 : en moins d'une semaine la circulation autour de l'île est rétablie (coût : 550 000 Francs[213]). Le courant et le téléphone sont rétablis en même temps, de même que l'eau via une canalisation provisoire. Le 2 la circulation est rétablie, les évacués regagnent leur domicile (ou sont logées provisoirement dans des maisons inoccupées pour celles qui ont tout perdu), le plan ORSEC levé.

[211] Soit environ 30 000 €.

[212] Soit environ 200 000 €.

[213] Soit environ 84 000 €.

## Annexe 12. ROUAGES DU REGIME D'INDEMNISATION CATNAT



## Annexe 13. CARTOGRAPHIE DES IMPACTS PERCUS DE L'ERUPTION D'AVRIL 2007 AU PITON DE LA FOURNAISE

Afin de réaliser une cartographie des aléas liés à l'éruption d'avril 2007, une enquête a été soumise en avril/mai 2007 par l'intermédiaire du rectorat à l'ensemble des professeurs de sciences de la vie et de la Terre en collèges et lycées de l'académie de La Réunion. Il leur a été demandé de faire remplir un questionnaire composé de neuf questions à leurs élèves :

| **Les impacts de l'éruption d'avril 2007 du Piton de la Fournaise sur votre lieu de résidence**<br>*Indiquez vos réponses en inscrivant X à côté des cases.* | **Objectif de la question** |
|---|---|
| 1) Quelle ville et quartier habitez-vous ? | Spatialisation des résultats |
| 2) A votre domicile durant l'éruption vous-êtes vous senti(e) en danger par rapport au volcan ?<br>□ oui, pourquoi ?<br>□ non, pourquoi ? | Corréler le cas échéant des réponses excessives concernant la représentation des aléas avec le sentiment de danger |
| 3) Y a-t-il eu chez vous des retombées de cendres ?<br>□ non<br>□ très peu (vous en avez juste aperçu quelques-unes)<br>□ partout en faible quantité<br>□ partout en quantité importante (essayez de préciser l'épaisseur en cm ou le volume que vous avez ramassé, éventuellement la durée des retombées) | Cartographie des retombées de cendres perçues |
| 4) Y a-t-il eu chez vous des retombées de cheveux de Pele ?<br>□ non<br>□ très peu (vous en avez juste aperçu quelques-uns)<br>□ partout en faible quantité<br>□ partout en quantité importante (si vous le pouvez, essayez de donner des détails) | Cartographie des retombées de cheveux de Pele perçues |
| 5) Y a-t-il eu chez vous des retombées de petits gravillons/galets ?<br>□ non<br>□ très peu (moins d'une dizaine)<br>□ partout en faible quantité<br>□ partout en grande quantité (précisez la quantité que vous avez ramassée) | Cartographie des retombées de lapilli perçues |
| 6) Si vous avez eu des retombées de petits gravillons/galets, quelle était leur taille ?<br>□ de taille inférieure à 1 mm<br>□ entre 1 et 5 mm<br>□ entre 5 mm et 1 cm<br>□ entre 1 et 2 cm<br>□ plus de 2 cm | |
| 7) Avez-vous senti une odeur particulière ?<br>□ non<br>□ oui mais je n'ai pas su l'identifier<br>□ une odeur de gaz, précisez le gaz si vous le connaissez :<br>□ l'odeur de : | Cartographie des émanations gazeuses perçues |
| 8) Avez-vous ressenti une gêne (respiratoire, au niveau des yeux, de la peau, etc.) pendant l'éruption ?<br>□ non<br>□ respiratoire<br>□ au niveau des yeux<br>□ au niveau de la peau<br>□ autre, précisez | Effets ressentis sur la santé |
| 9) La végétation près de votre domicile a-t-elle été détériorée ?<br>□ non<br>□ oui, décrivez | Cartographie des impacts observés sur la végétation |

Les professeurs avaient la possibilité de restituer les résultats par voie postale ou informatique. Une grille réalisée sous EXCEL leur avait été transmise de façon à recueillir des données harmonisées. Au final 1951 questionnaires nous ont été retournés (885 par voie postale, 1066 par mail). Ils ont été traités sous SPHINX et restitués sous forme :

- d'une carte générale présentant les résultats complets à l'aide d'histogrammes pour les 26 villes de résidence des répondants, ainsi que pour le village du Tremblet, dissocié de Saint-Philippe du fait de sa proximité du site éruptif ;

- de cartes des aléas et des effets perçus pour l'ensemble des communes de l'île, à l'exception de Trois-Bassins pour laquelle aucune donnée n'est disponible. Les retombées de cendres, cheveux de Pele et lapilli ont fait l'objet d'une quantification par les répondants. Ce caractère quantitatif a été restitué en dotant chaque commune d'un score compris entre 0 et 3, correspondant à la somme des réponses pondérée par le nombre de répondants de la commune, en tenant compte des valeurs suivantes : non = 0, très peu = 1, partout en faible quantité = 2, partout en quantité importante = 3. L'aléa émission de gaz et les impacts non quantifiés ont simplement été cartographiés en tenant compte du pourcentage de répondants ayant ressenti une odeur, une gêne, ou observé des effets sur la végétation.

Plusieurs inconvénients ressortent de cette méthode :
- le premier est tout simplement qu'elle ne permet des cartographies que des aléas et impacts perçus, pas des aléas et impacts au sens strict ;
- la quantification de l'aléa perçu est exprimée de façon différente d'un individu à l'autre (« peu » pour certains équivaut à « beaucoup » pour d'autres), les résultats doivent donc être abordés avec recul. L'aspect quantitatif de l'enquête permet toutefois de moyenner ces « distorsions perceptives ». La cohérence des réponses a par ailleurs été vérifiée en les croisant avec des témoignages recueillis pendant et après la crise auprès d'habitués du volcan et de scientifiques ;
- le traitement du questionnaire ne permet pas d'établir de limites fines de l'étendue des aléas et impacts comme l'aurait permis un minutieux travail de terrain, cependant bien trop chronophage pour être envisageable. Bien que les élèves aient indiqué leur quartier de résidence, les répondants ne sont pas suffisamment bien répartis sur le territoire insulaire pour pouvoir cartographier les limites des zones d'emprise à une échelle supérieure à celle de la commune ;
- le nombre de répondants est très variable d'une commune à l'autre : Saint-Denis est par exemple largement surreprésentée dans l'échantillon (23%) alors que Sainte-Rose est sous-représentée (0,3% seulement) et qu'aucune réponse n'a été reçue pour la commune de Trois Bassins. Ces déséquilibres tiennent en partie aux densités de population : les grandes villes drainant un nombre supérieur d'établissements secondaires, les chances d'obtenir des réponses dans le cadre d'un sondage systématique sont accrues. La volonté individuelle des chefs d'établissement et professeurs contactés est également déterminante. Elle repose en partie sur des critères qui nous échappent, parmi lesquels la relation à leur hiérarchie puisque l'enquête a été transmise par l'intermédiaire du rectorat. Notre démarche est en ce sens certainement trop technocratique, mais chercher des enseignants volontaires à l'échelle de l'île pour établir un échantillon par quotas aurait encore une fois été trop chronophage.
- enfin, pour optimiser le taux de retour, l'enquête transmise était très courte. Bien qu'intéressants, les résultats sont de fait limités.

# Annexe 14. Simulation Multi-Agents (SMA) d'evacuation de la pointe du Tremblet : choix d'un simulateur et parametrage du modele

Différentes approches existent pour la modélisation des temps d'évacuation. Pidd et al. [1996] distinguent les macro-, les méso- et les micro-simulateurs. Tandis que les premiers modélisent les flux piétons à l'échelle d'agglomérations, sans prendre en compte les phénomènes d'encombrement, les micro-simulateurs, ou SMA, permettent à une échelle plus fine de considérer l'encombrement des voies en tant que facteur limitant la vitesse de circulation des piétons [Sahal 2011].

Les comportements des piétons sont étudiés depuis les années 1980 [Okazaki 1979 ; Gipps et Marksjö 1985] et ont notamment permis de développer des modèles comportementaux complexes pour simuler les interactions entre individus en situation de stress [Helbing et Molnár 1995 ; Papadimitriou *et al.* 2009 ; Löhner 2010].

Le plus souvent utilisés dans des contextes d'évacuation d'espaces confinés ou peu accessibles [Proulx 1993 ; Zhonga *et al.* 2008 ; Shi *et al.* 2009], les SMA sont désormais utilisés en contexte d'évacuations face aux risques naturels. Sahal [2011] propose ainsi l'utilisation de SimWalk [Zainuddin *et al.* 2009], un SMA basé sur le modèle d'interaction des « forces sociales » [Helbing et Molnár 1995 ; Helbing *et al.* 2000] pour évaluer les temps d'évacuation de plages plus ou moins accessibles dans un contexte de submersion marine, et en déduit des aménagements possibles pour faciliter l'évacuation de ces espaces. A noter que ce modèle ne prend en pas en compte les phénomènes de piétinement liés à la chute d'individus lors de l'évacuation.

Nous proposons ici d'utiliser SimWalk pour évaluer le temps nécessaire pour l'évacuation de spectateurs de coulées de lave au Tremblet (ou « agents »). Des paramètres de simulation sont définis pour un scénario optimiste prenant en compte diverses variables :

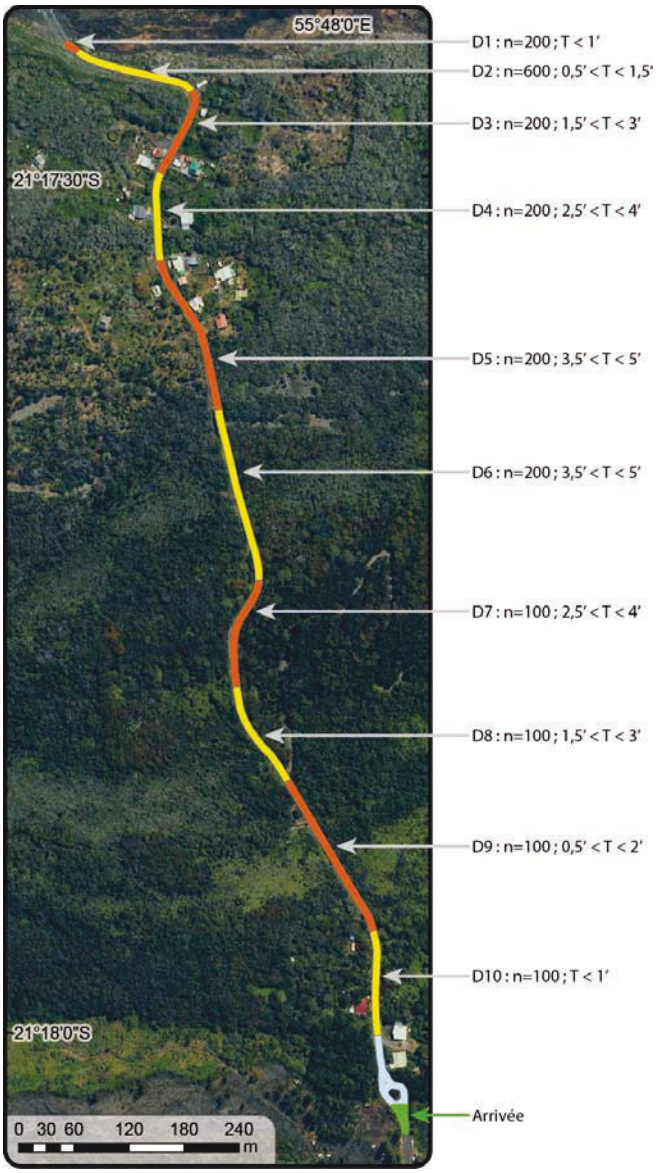
Facteur favorable  Facteur défavorable  Facteur très défavorable

| Paramètres pris en compte | Observés en 2007 | Potentiels |
|---|---|---|
| 1000 à 2000 visiteurs présents en même temps au Tremblet | Jusqu'à 5000 visiteurs | Plus de 5000 visiteurs |
| Personnes présentes uniquement sur la RN | Personnes présentes sur le sentier littoral et sur les sentiers « marron » | Personnes présentes sur les coulées (substrats très variables) |
| Absence de véhicules sur la chaussée, chaussée entièrement dégagée | Voitures constituant un encombrement dans la zone à évacuer | Combinaison d'une évacuation piétonne et routière |
| Contexte diurne | Contexte nocturne | |
| Gabarit standard des agents et présence de personnes à mobilité réduite (chaises roulantes) | Personnes en difficulté médicale | Facteur fatigue sur des distances d'évacuation supérieures |
| Distance d'évacuation minimale | Interactions avec les véhicules de secours en mouvement | Interactions avec des véhicules de secours et civils en plus grand nombre et d'évacuation des résidents |
| Réaction quasi immédiate des individus, temps de réaction de proche en proche depuis les postes de secours/police | | Impossibilité d'alerter dans des délais raisonnables les personnes hors-zone autorisée |

| | | |
|---|---|---|
| ☺ Evacuation vers une zone refuge commune (un sel sens de circulation des piétons) | | ☹ Alerte prise en compte tardivement<br>Personnes continuant à affluer à contre-courant malgré l'alerte |
| | | ☹ Ouverture des fissures à proximité immédiate du village |
| | | ☹ Prise en étau coulées de lave/ravines en crue |

On considère ainsi que l'alerte puisse parvenir aux spectateurs proches de la coulée dans les meilleurs délais, qu'il n'y ait personne sur le sentier du bord de mer ni sur les remparts, ou sur d'autres sentiers. Le phénomène de piétinement associé à la panique des individus n'est pas prise en compte [Ren *et al.* 2009]. En revanche, les caractéristiques physiques et sociales des agents sont renseignées en fonction de ce qui a été observé sur le terrain : corpulence, âge, encombrement éventuel (poussettes, cannes, fauteuils roulant, sacs à dos, etc.) sont spécifiés, de même que les liens sociaux entre certains agents (couple, famille).

Des zones de départ sont définies avec des densités croissantes à mesure que l'on s'approche du rempart, tel que cela a pu être observé en 2007, ainsi que des temps de réaction propres. Dix zones de départ et une zone refuge (au rond-point Citrons Galets) sont ainsi spatialisées. Les zones D1 et D2 sont naturellement les plus peuplées : elles constituent le point d'observation sur les coulées de lave. Le temps de réaction des individus est plus court (inférieur à une minute) aux extrémités de la section à évacuer (zones D1 et D10), partant du principe que les forces de l'ordre ou équipes de secours émettent l'alerte depuis ces deux zones. Il peut en revanche approcher cinq minutes au centre de la section (zones D5 et D6), où l'alerte est donnée de proche en proche par les agents évacuant depuis l'amont ou l'aval.




On réalise deux simulations différentes avec 1000 puis 2000 individus (ou agents) répartis le long de la RN. Les agents prennent la fuite depuis les espaces où des sapeurs-pompiers sont présents, ou lorsqu'ils voient arriver des piétons fuyant vers la zone refuge. Les 2 simulations sont reproduites à 3 reprises (ou courses). On réalise ensuite des moyennes pour les 3 courses de chaque simulation.

## Annexe 15. RETRANSCRIPTION SYNTHETIQUE DES CONTRADICTIONS ENONCEES EN DIRECT SUR LES RADIOS FREEDOM ET RFO LE 06/04/2007 (INTERPRETATION DES PHENOMENES ET DE LA DECISION D'EVACUATION)

**NB :** Notons que l'agent ONF occupe également la fonction d'adjoint au maire de la commune. Marie, « *volcanologue* » est une étudiante en M1 de géophysique sans compétences spécifiques en volcanologie.

● FreeDom ● RFO

→ transmet l'information

→ dément l'existence d'une coulée hors Enclos

→ transmet une information erronée

→ ordre d'évacuation

→ demande confirmation de l'information

voix / son off

| Heure | | Intervenant | Information délivrée |
|---|---|---|---|
| *Toute la matinée* | ● ● | Journalistes en studios | → « Les habitants du Tremblet se préparent à évacuer » |
| 14h45 | ● | Habitante du Tremblet | → « Je vois comme des projections mais si c'est des projections elles doivent atteindre au moins 100 mètres de haut ! Je suis à peu près à 1,5 km de la falaise » |
| 14h50 | ● | | → → « J'ai appris que les habitants qui sont au-dessus de la ravine pont rouge ont évacué […] il paraitrait que la ravine pont rouge devait passer sur la route alors je ne sais pas ce qu'il en est » |
| | ● | Journaliste studio | → Journaliste : « il n'y a pas encore eu de plan d'évacuation, ce sont les familles qui ont décidé de partir » |
| 15h10 | ● | Envoyée spéciale, à moitié paniquée | → « La situation devient préoccupante, on procède à l'évacuation » |
| | ● | Habitante du Tremblet | → « Oui parce qu'il y a une coulée qui arrive au-dessus de l'ancienne coulée de 1986, les gens commencent à paniquer » |
| 15h12 | ● | Gendarme | → « Il y a une coulée, elle n'est pas loin et elle arrive trop vite » |
| 15h12 | ● | Habitante du Tremblet, en pleurs | → « On s'en va [décrit la chaleur intense] tout le monde court » |
| 15h14 | ● | Haut-parleur des gendarmes | voix → « évacuation de tout le Tremblet, ne trainez pas, partez le plus vite possible vers le gymnase de Saint-Philippe » |
| 15h15 | ● | Envoyée spéciale, à moitié paniquée | → « On procède en ce moment à l'évacuation d'urgence, Marie, qu'est-ce qu'il se passe là ? » |
| | ● | Marie, « *volcanologue* » | → « J'en sais rien, moi je débarque, je ne sais pas du tout en fait » |
| 15h17 | ● | Envoyée spéciale, à moitié paniquée | → « Les gens sont en total panique. De là où je suis-je vois une épaisse fumée blanche, des flammes d'une certaine hauteur, mais je ne vois aucune coulée. Selon les forces de l'ordre il y a vraiment un risque, ce n'est plus un risque, c'est une certitude, il y a certainement une coulée, la même que celle de 1986 » |
| | ● | Journaliste studio | → « est-ce que vous nous confirmez cette coulée qui menace le village du Tremblet ? » |
| 15h18 | ● | Sismologue OVPF | → « non, sur nos instruments on n'a rien de tel. Ce qu'on a par contre c'est des gros séismes au sommet, [le sismomètre qui est installé au Tremblet] je vous assure, il ne montre pas qu'il y ait de nouvelle fissure qui se soit ouverte ou de nouvelle coulée » ; la sismologue de l'OVPF dit qu'il n'y a pas de signal hors-Enclos.<br>→ Explications sur les séismes incompréhensibles pour le grand public. |
| 15h18 | ● | Gendarme | → « Il reste encore du monde à évacuer, on recherche un Monsieur là » |
| 15h19 | ● | Journaliste studio | → « Nous pour l'instant ici nous ne savons pas s'il s'agit d'un incendie ou d'une coulée, avez-vous des informations sur place ? » |
| 15h20 | ● | | voix Arrivée d'un camion de pompier |
| 15h21 | ● | Envoyée spéciale à un gendarme | → « Excusez-moi Monsieur, il s'agit d'un incendie ou de la coulée elle-même ? » |

| Heure | Intervenant | Information délivrée |
|---|---|---|
| | Gendarme | « On suppose que c'est une coulée qui progresse justement vers et en direction du rond-point du site » « L'évacuation au-delà de cette zone est presque terminée et on est en train de procéder à l'évacuation de l'autre partie du Tremblet » |
| 15h22 | Agent ONF | « Je suis remonté sur la coulée 1986 et on constate qu'il y a un débordement au niveau du point de sortie avec un gros risque qu'il y ait une coulée qui descende entre je dirais l'ancienne coulée 1986 et la pointe du Tremblet » |
| 15h23 | Journaliste studio | « Si on comprend bien il ne s'agirait pas de nouvelle fissure mais d'un apport de lave tellement important que la lave pourrait prendre une autre direction et donc glisser vers le village du Tremblet ? » |
| 15h24 | Agent ONF | « On voit des rougeurs et un petit front qui commence à avancer » |
| | Journaliste studio | « S'agit-il d'un incendie ou de la propagation d'une coulée ? » |
| | Agent ONF | « Je ne peux pas vous confirmer exactement, on voit bien une rougeur très importante qu'on ne voyait pas ce matin » |
| 15h28 | Envoyée spéciale | « J'emmène des gens avec moi car on attend un bus qui doit tous les emmener mais comme j'ai trois places à l'arrière de mon véhicule je les emmène » |
| 15h32 | Audrey Lauret | On ne sait toujours pas si il s'agit d'un incendie ou d'une coulée hors-Enclos « des jets de lave menacent le village du Tremblet, c'est pourquoi l'évacuation devient urgente » |
| 15h34 | Envoyée spéciale | « Je suis toujours au Tremblet en train d'aider Marie, une volcanologue, son pneu de 4x4 a crevé et on est tous en train d'essayer de le changer pour pouvoir évacuer » |
| | | Coupure de la liaison : « les communications deviennent difficiles avec le Tremblet, beaucoup d'appels sont passés en ce moment » |
| 15h38 | Journaliste studio | « On attend un effondrement mais on ne sait pas de quelle ampleur » |
| 15h39 | Auditeur | « De plus en plus de cheveux de Pele à la rivière St-Louis, on n'a jamais vu ça » |
| 15h44 | Auditeur | « Idem à Bras Panon » |
| | | On entend passer l'hélicoptère de la gendarmerie |
| 15h46 | Audrey Lauret | « donc apparemment il s'agit d'une nouvelle coulée située entre le citron des galets et Takamaka, mais on n'a encore aucune certitude puisque c'est des informations qui ont été données par l'observatoire du volcan, des observations qui ont été données par des habitants du Tremblet, donc rien de certifié, les sismologues courent à l'information pour avoir des certitudes et donc c'est une deuxième coulée qui serait hors-Enclos »<br>« on attend les transports en commun qui vont arriver pour déplacer toutes ces personnes » |
| 15h47 | Journaliste studio | « l'ordre d'évacuation a été donné il y a presque une heure maintenant, Carine Maillot nous avait appelé à 15h12 pour nous dire que l'ordre d'évacuation était donné » |
| 15h48 | Agent ONF | « je suis avec les gendarmes, on va faire une reconnaissance, on va monter la piste de Takamaka, là où il y a le point de vue à 300m d'altitude, pour voir exactement le point de sortie, mais en tous cas, je vous confirme qu'il y a donc un point de sortie hors Enclos, cela est confirmé » |
| 15h49 | Etudiante LGSR | « ce sont les fontaines de lave qu'on observe au-dessus du rempart, pour l'instant il n'y a aucune confirmation d'une coulée hors Enclos, il n'y a pas de soucis à se faire outre mesure » |
| 15h50 | | Toute la partie nord du village a été évacuée, la partie sud est en cours d'évacuation |
| 15h53 | Directeur technique OVPF | « face à ce que voient et disent les gens sur place, il m'est difficile de dire que c'est impossible qu'il y ait une coulée hors Enclos, néanmoins ce qu'on voit nous laisse penser qu'il ne se passe rien de nouveau au niveau du Tremblet » une explication possible serait les projections des fontaines et éventuellement des incendies. Cette hypothèse semble se confirmer en interrogeant de nombreux témoins. Cheveux de Pele à la Plaine des Cafres. |
| 16h01 | Maire de Saint-Philippe | « ce que nous craignions est en train d'arriver […]. Il nous est possible d'affirmer maintenant qu'il y a une coulée qui arrive sur l'ancienne coulée Citrons galets là où nous sommes actuellement et c'est la raison pour laquelle nous avons été obligés d'activer le plan d'évacuation » |
| | Envoyée spéciale | « Comment pouvons-nous vérifier qu'il s'agit bien d'une nouvelle coulée ? » |
| 16h02 | Maire de Saint-Philippe | « C'est l'observatoire volcanologique qui peut nous le dire, donc comme je vous dis, je ne peux pas dire avec certitude qu'il s'agit d'une nouvelle faille ou d'une nouvelle fissure mais il se peut qu'il y ait eu un déversement » |

| Heure | Intervenant | Information délivrée |
|---|---|---|
| 16h02 | | L'hélicoptère se pose à Citrons-Galets |
| 16h09 | Journaliste studio | « Depuis bientôt pratiquement une heure l'ordre d'évacuation a été donné » |
| 16h11 | Responsable des services techniques de Saint-Philippe, au PCC | « le Tremblet est en cours d'évacuation 206 familles recensées, soit environ 350 à 400 personnes, l'ensemble du personnel communal et des élus sont mobilisés » |
| 16h13 | Envoyée spéciale | « les spécialistes viennent de descendre de l'hélicoptère, ils font le point avec le sous-préfet […] on ne sait pas exactement ce qui se passe en tous cas j'ai avec moi Marie, volcanologue, "ils sont allés faire un point de la situation directement sur les lieux"» |
| 16h18 | Habitante du Tremblet | « On a été évacués mais on ne sait toujours pas ce qui se passe derrière. Nous on pensait que c'était des projections, et là maintenant on nous dit que c'est peut-être ça où une coulée au niveau du rond-point Citrons-Galets »<br>16h20 « je suis déboussolée, j'ai l'impression de vivre un cauchemar » |
| 16h22 | Marie, « *volcanologue* » | « Apparemment, les coulées sont toujours dans l'Enclos, il n'y a pas de nouvelle faille, ça n'était qu'une impression » |
| 16h23 | Journaliste studio | « Mais Carine Mayot, là on a l'impression que c'était une fausse alerte »<br>C. Maillot : « Oui, c'était une mesure de précaution ». « On est sûr qu'il n'y a pas de nouvelle faille, il n'y a pas de coulée hors-Enclos ». |
| 16h25 | Journaliste studio | « d'après certaines informations on a préventivement évacué la population de jour car s'il fallait le faire de nuit ça serait plus compliqué » |
| 16h30 | Sous-préfet de St-Pierre | Suite à la reconnaissance en hélicoptère, confirmation qu' « il n'y a pas de sortie hors-Enclos, l'évacuation est annulée, les gens vont pouvoir rentrer chez eux à l'exception de ceux qui habitent entre le rempart et Citrons-Galets, parce que cette zone est vraiment très dangereuse ». Enonce l'argument en disant que « c'est ce qui a été observé par une technicienne de l'OVPF dans l'hélicoptère » (se repose sur ce jugement scientifique) |
| 16h31 | Sous-préfet de St-Pierre | / « Je note que l'évacuation s'est passée rapidement et dans le calme. Cette alerte a montré qu'on était vigilant, que le plan d'évacuation était prêt, et qu'on pouvait évacuer avec calme et rapidité le village du Tremblet » |
| 16h57 | Envoyée spéciale | « Pour l'instant je ne peux rien vous confirmer mais a priori on a observé un effondrement au niveau du Dolomieu. Pour le moment le sous-préfet s'entretient avec la spécialiste en volcanologie. C'est une hypothèse pour le moment » |
| | Sismologue OVPF | « On a plusieurs effondrements qui se suivent les uns les autres, chaque séisme 3 en fin de cycle correspond à une phréatique dans le Bory, on a des caméras qui nous permettent de voir d'épais nuages noirs ». On constate une communication de qualité inégale en fonction des personnels de l'OVPF : l'un demeure incompréhensible par le public tandis que l'autre a un discours bien plus accessible. « On ne connait pas encore la dimension de l'effondrement. On a très peu d'expérience en la matière donc on ne sait pas comment ça va jouer sur la suite de l'éruption. Pour l'instant le trémor continue de s'intensifier ». |
| 17h01 | Directeur technique OVPF | Ph. Kowalski OVPF confirme en directe qu'il n'y a pas de nouvelle fissure hors-Enclos et explique la mauvaise interprétation sur site (fontaines de lave de 200m de hauteur). « Il y a probablement eu l'effondrement attendu car on commence à voir des panaches au sommet. Il n'y a eu aucun signal sismique sous le Tremblet, c'est pour cela que l'évacuation nous a un peu surpris et pris de court lorsque vous avez appelé précédemment » |
| 17h03 | Envoyée spéciale au Tremblet | Le sous-préfet s'entretient toujours avec l'étudiante en volcanologie. |
| 17h06 | Journaliste studio | « Cet après-midi, tout est parti d'un agent de l'ONF, Guy Rivière, qui nous a raconté quelques heures plus tard ce qu'il a vu au-dessus de la ravine Citrons-Galets ».<br>« A l'heure où je vous parle toute la population du Tremblet est à l'abri, les 400 habitants du village ont pu quitter le Tremblet, dans le calme, et sans incident fort heureusement, ils ont pu gagner les trois centres d'hébergement ». |
| 17h07 | Envoyée spéciale | « Est-ce qu'il était nécessaire d'évacuer la population alors ? » |
| | Sous-préfet de St-Pierre | « Oui, à partir du moment où il y avait cette vision concomitante par plusieurs personnes »<br>« Ca a été une sorte d'exercice en grandeur nature et qui s'est fait dans un grand calme. […] Encore une fois je note que l'évacuation s'est bien passée et ça montre que le système était bien en place »<br>« On a autorisé la population à rentrer, à l'exception de Citrons Galets et au-delà (barrage total) » |

| Heure | Intervenant | Information délivrée |
|---|---|---|
| 17h12 | Sous-préfet de St-Pierre | → Justifie l'absence de mise en place de cellule psychologique par la faible durée de l'évacuation, « l'explication donnée aux habitants est suffisante » |
| 17h20 | Habitante du Tremblet | → « On est rassurés parce qu'on vous entend et qu'a priori c'est une fausse alerte » |
| 17h22 | Sous-préfet de St-Pierre | → »Nous venons d'autoriser les habitants du Tremblet à regagner leur domicile » |
| 17h40 | Auditrice réunionnaise de métropole | Invective d'une auditrice car → « TF1 et les médias de métropole, en général, ne parlent pas suffisamment du volcan alors que pour le chikungunya on en entendait parler tous les jours. Si ça c'était passé dans le sud on en aurait entendu parler, et La Réunion est quand même un département, on voudrait plus de nouvelles ici ». |
| 17h53 | Habitant de Saint-Philippe | → Se plaint de la fausse alerte, des mauvaises interprétations.<br>L'animateur : « oui mais ça c'est facile à dire après »<br>L'auditeur à 17h55 « c'est moi qui habite le Tremblet, ce n'est pas Mr Plaine des Cafres, ce n'est pas Mr St-Denis ou Mr qui avez les pieds déor, c'est nous qui est dans le secteur, ça fait plusieurs années qu'on étudie nous-mêmes la mouvance volcan, donc ce qui veut dire que s'il y a événement supplémentaire → on peut l'analyser, on peut le dire nous ici » |
| 18h07 | Préfet, au COD | → Le Préfet déclare en direct au journal de 18h depuis la cellule de crise à Saint Denis que « l'évacuation est liée à une boule de feu observée qui était en fait un incendie »… |
| 18h47 | Journaliste studio | → « On n'a jamais connu une telle éruption à La Réunion de mémoire de vivant » |

# Annexe 16. RECOMMANDATIONS SANITAIRES EMISES PAR LA PREFECTURE DE LA REUNION LORS DE L'ERUPTION D'AVRIL 2007

**Recommandations de la préfecture émises suite aux épisodes de pollution atmosphérique**

Ces recommandations s'adressent aux personnes sensibles (personnes âgées, enfants et adultes ayant des pathologies respiratoires ou cardio-vasculaires chroniques) en cas de dépassement du seuil d'information, et à l'ensemble des Réunionnais en cas de dépassement du seuil d'alerte :

- éviter toutes les activités physiques et sportives intenses, augmentant de façon importante le volume d'air et de polluants inhalés ;
- veiller à ne pas aggraver les effets de cette pollution par d'autres facteurs irritants, tels l'usage de solvants ou de peintures sans protection appropriée ;
- veiller à ne pas aggraver les effets de cette pollution par la fumée de tabac, qui joue un rôle majeur dans la survenue de l'allergie respiratoire et de l'asthme.
- pour les personnes sous traitement préventif ou curatif à visée respiratoire, il est recommandé de suivre strictement leur traitement ou de l'adapter sur avis du médecin.

Plus généralement, il est conseillé de consulter son médecin si une gêne respiratoire inhabituelle apparaît.

**Recommandations de la préfecture émises suite aux retombées de cheveux de Pélé**

Comme à chaque éruption, des projections de lave refroidies (connues sous le terme de « cheveux de Pelée ») sont susceptibles d'affecter les communes situées dans la zone d'influence du volcan. Une recommandation de prudence est adressée aux éleveurs, l'ingestion de ces projections étant dangereuse pour les animaux.

Recommandations aux responsables de structures de garde d'enfants et écoles accueillant des enfants de moins de six ans, dans les communes de Saint-Joseph, Petite-Ile, Saint-Philippe, Sainte-Rose, Le Tampon :

- veiller à ce que les fruits et légumes proposés aux enfants soient bien lavés,
- veiller à ce que la fréquence des lavages des mains soit augmentée.
- si la présence de cheveux de Pelée est relevée dans les espaces extérieurs habituellement fréquentés par les enfants, il est recommandé d'éviter leur fréquentation ou leur usage.

**Seuils fixés par les décrets de 2010 et 2011 à La Réunion**

| Seuils | Dioxyde d'azote | Dioxyde de soufre | Ozone | Particules PM10 *(moyenne sur 24h)* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Définis par l'arrêté du 02/09/2011 | | | Définis par l'arrêté du | |
| | | | | 13/09/2010 | 02/09/2011 |
| **Vigilance** | 100 µg/m$^3$ de moyenne horaire | 150 µg/m$^3$ de moyenne horaire | 100 µg/m$^3$ de moyenne horaire | 60 µg/m$^3$ | 40 µg/m$^3$ |
| **Information et recommandation** | 200 µg/m$^3$ de moyenne horaire | 300 µg/m$^3$ de moyenne horaire | 180 µg/m$^3$ de moyenne horaire | 80 µg/m$^3$ | 50 µg/m$^3$ |
| **Alerte niveau 1** | 200 µg/m$^3$ 2 j de suite ou 400 µg/m$^3$ sur 3h consécutives | 500 µg/m$^3$ sur 3h consécutives | 240 µg/m$^3$ sur 3h consécutives | 125 µg/m$^3$ | 80 µg/m$^3$ |
| **Alerte niveau 2** | / | / | 300 µg/m$^3$ sur 3h consécutives | / | / |
| **Alerte niveau 3** | / | / | 360 µg/m$^3$ pendant 1 h | / | / |

# Annexe 17. NIVEAUX D'ALERTE EN CAS D'ERUPTION VOLCANIQUE A LA REUNION DEPUIS 2009 ET MESURES D'URGENCE ASSOCIEES

**(d'après les données du PSS Volcan [Préfecture de La Réunion 2005] et de l'arrêté n°747 du 11 mars 2009 modifiant le PSS)**

| NIVEAU D'ALERTE | Phénomènes associés | Mesures d'urgence adoptées |
|---|---|---|
| **VIGILANCE VOLCANIQUE, éruption possible** | ➢ Activité sismique et déformations sous la Fournaise ou hors-Enclos<br>➢ Eruption possible à court ou moyen terme (jours ou semaines) | ✓ Préfecture régulièrement informée de l'évolution de l'activité volcanique par l'OVPF<br>✓ Services concernés informés du passage en vigilance volcanique par un message d'alerte<br>✓ Communiqué diffusé aux médias puis message rappelant la vigilance volcanique publié au minimum une fois par semaine par la préfecture (EMZPCOI)<br>✓ Accès libre à l'Enclos |
| **ALERTE 1, éruption probable ou imminente** | ➢ Détection d'une crise sismique<br>➢ Eruption probable dans les heures à venir | ✓ Réunion interservices à la préfecture : point de situation destiné à l'information des services concernés et organisation de la gestion de l'événement<br>✓ Communiqué du passage en alerte 1 aux services concernés et aux médias<br>✓ Fermeture de l'accès au public de la partie haute de l'Enclos et évacuation des randonneurs se trouvant sur site. Accès maintenu pour le personnel de l'OVPF, de l'ONF, des services de secours et de gendarmerie, et les titulaires d'une carte permanente d'accès à l'Enclos<br>✓ Panneaux d'information mis en place par l'ONF<br>✓ Interdiction de poser d'hélicoptère dans la zone du volcan et possibilité de restriction de survol de la zone d'éruption en cas de menace d'explosion<br>✓ Mesures d'interdiction et d'évacuation élargies si les signes précurseurs laissent craindre un danger plus étendu |
| **ALERTE 2, éruption en cours** | | |
| **2-1** | ➢ Eruption confinée dans le Dolomieu, sans menace externe<br>➢ L'éruption ne présente pas de menace directe pour la sécurité des personnes et des biens | ✓ Dans un premier temps, maintien des mesures prises en alerte 1 & Communiqué du passage en alerte 2 aux services concernés et aux médias<br>✓ Possibilité d'ouvrir l'Enclos au public (uniquement en cas de stabilisation de l'activité et après reconnaissance de terrain conjointe préfecture- gendarmerie-OVPF-ONF)<br>✓ En cas d'ouverture de l'Enclos au public :<br>✓ dispositif de sécurité au Pas de Bellecombe calibré en fonction de l'affluence sur le site : possibilité d'activer un PCO et un PMA<br>✓ régulation de la circulation automobile sur la route forestière 5 pour éviter la saturation des parkings du Pas de Bellecombe (480 places) et de Foc Foc (200 places). En cas d'affluence excessive, possibilité d'interdire la circulation depuis Bourg Murat et de mettre en place un service de navettes<br>✓ Possibilité de restreindre l'interdiction de poser d'hélicoptère aux seuls abords du Dolomieu |
| **2-2** | ➢ Eruption confinée les parties hautes de l'Enclos et du Grand-Brûlé<br>➢ L'éruption ne présente pas de menace directe pour la sécurité des personnes et des biens | ✓ Dans un premier temps, maintien des mesures prises en alerte 1 & Communiqué du passage en alerte 2 aux services concernés et aux médias<br>✓ Accès à l'Enclos autorisé dans les plus brefs délais (uniquement après stabilisation de l'activité et reconnaissance conjointe comme en alerte 2-1)<br>✓ Mesures de gestion de l'affluence identiques à celles adoptées en alerte 2-1<br>✓ Balisage des itinéraires et des limites d'approche par l'ONF<br>✓ Si l'éruption est visible depuis le Pas de Bellecombe, reconnaissance pour déterminer si le sentier d'accès au Piton Partage et au Piton de Bert peut rester ouvert au public ; service d'ordre mis en place aux deux points de vue en cas de forte affluence<br>✓ Patrouilles de gendarmerie surveillant l'évolution de l'activité en cas de coulées dans les Grandes Pentes, circulation maintenue sur la RN2 |
| **2-3** | ➢ Eruption menaçant de couper la RN2 ou éruption hors-Enclos menaçant des zones habitées<br>➢ L'éruption présente une réelle menace pour la sécurité des personnes et des biens | ✓ Centre opérationnel de la préfecture (COD) et PCO activés au plus près des lieux de l'événement en cas de menace directe pour la sécurité des personnes et des biens ;<br>✓ Fermeture de la RN2 en fonction de la traversée prévisible des coulées de lave ; gestion optimisée des flux avant la fermeture<br>✓ En cas de coupure de la RN2 : libre accès des véhicules légers jusqu'à un point de retournement déterminé favorisant la fluidité de la circulation et le stationnement de part et d'autre des coulées ; ou parkings de regroupement à Notre-Dame-des-Laves ou au Puits Arabe et dispositif de navettes de bus pour l'accès aux coulées (option privilégiée en cas d'affluence massive de visiteurs)<br>✓ Evacuation des populations si des zones habitées sont menacées |
| | | ✓ A la fin d'une éruption, prolongation possible des différentes mesures d'interdiction en cas de subsistance d'un danger & diffusion de consignes |
| **Alertes spécifiques** | ➢ Dangers particuliers liés à l'activité volcanique | ✓ Information aux médias par communiqués de presse précisant la nature de la menace et les recommandations émises en cas d'émission importante de cendres, de gaz ou de cheveux de Pele pouvant concerner une zone géographique plus ou moins étendue. |

## Annexe 18. ARTICLE DU JIR SUR LA POLITIQUE D'ACCES AU VOLCAN EN AVRIL 2012

SOCIÉTÉ

# « Pas plus de risques dans l'enclos qu'ailleurs »…

Réagir | Clicanoo.re | publié le 5 avril 2012 | 07h03

Le Journal

Le directeur de cabinet du préfet (au centre) lors d'une reconnaissance. Selon lui, randonner au volcan hors période éruptive ou pré-éruptive "ne présente pas plus de risques que dans n'importe quel espace de montagne".

Facebook Live MySpace Twitter Wikio

Nommé directeur de cabinet du préfet en 2010, Benoît Huber a, dès son arrivée, porté un regard différent de celui de ces prédécesseurs sur la réglementation de l'accès au volcan. L'un d'entre eux, interrogé sur la raison du maintien de l'interdiction d'accès tout au long de l'éruption de juillet 2006, avait eu pour seul argument : « Je vous dis que c'est dangereux… Parce que c'est dangereux »… Peu après son arrivée, il n'hésite pas à enfiler ses chaussures de randonnée pour gravir le sommet du volcan et juger de ses yeux. Il écoute l'analyse des géologues, volcanologues, et secouristes qui l'accompagnent. Amateur de montagne, il a quinze années d'expérience préfectorale, dans les services de la protection civile et de la prévention des risques naturels, en Haute-Savoie notamment. Depuis, la réouverture de l'enclos a été plus rapide qu'auparavant lors de plusieurs éruptions voire, presque étonnamment, juste après des crises sismiques avortées.

SUR LE **MÊME SUJET**

**Le volcan hors des sentiers battus**

Aujourd'hui, un nouvel assouplissement est attendu avec l'abrogation de l'arrêté qui interdit la circulation hors des sentiers balisés dans la partie haute de l'enclos du piton de la Fournaise. En effet considère le directeur de cabinet du préfet, chargé entre autres de la sécurité et de la gestion de crise : « Hors phase éruptive et pré-éruptive, randonner hors des sentiers ne présente pas plus de risques dans l'enclos que dans n'importe quel autre espace de montagne ». Benoît Huber souligne par ailleurs : « Cet arrêté pose le principe d'une interdiction générale, assortie de trois exceptions [les trois sentiers balisés actuellement autorisés]. Cette interdiction est trop générale et sa motivation insuffisamment circonstanciée. L'interdiction actuelle est donc juridiquement fragile ».

Nul doute que cette vision est depuis longtemps celle de beaucoup d'observateurs et simples randonneurs frustrés alors que, sauf circonstances spécifiques, aucun arrêté permanent de ce type n'est en vigueur, quand bien même chaque année en France plusieurs dizaines de randonneurs et d'alpinistes trouvent la mort en sur des sentiers ou en gravissant des sommets, avec ou sans guide…

# Annexe 19. L'ERUPTION DU KARTHALA DE JANVIER 2007

Fin 2006 - début 2007, plusieurs dizaines de séismes sont enregistrés par l'OVK. Dans la journée du 12 janvier, la sismicité est particulièrement élevée et très fortement perçue par la population. Des séismes de magnitude 4 sont enregistrés. Le Karthala entre en éruption le samedi 13 janvier 2007 vers 02h50 (heure locale) après une crise intrusive débutée le même jour à 00h27. Cette éruption se signale par des lueurs rouges au-dessus du volcan. Le trémor baisse rapidement dans la journée du 13 janvier pour disparaître vers 15h00. Cent mille mètres cube de lave ont été émis dans le Chagnoumeni au cours des 12 heures d'éruption. Celle-ci a été purement magmatique, sans explosion importante [Bachèlery et Delcher 2007]. Si la phase éruptive a été brève, la sismicité reste très élevée plusieurs jours après l'éruption. La crise sismique est à son paroxysme dès la fin de journée du 13 janvier et se maintient à un niveau très élevé les 14 et 15 janvier. Durant cette période de nombreux séismes de magnitude souvent supérieure à 3.5 sont ressentis par la population, en particulier dans la région de Moroni et dans l'ouest de la Grande Comore. Des bâtiments sont endommagés dans la médina de Moroni, dont un s'effondre. De nombreux habitants effrayés et peu confiants dans la solidité de leur habitation, dorment dehors. Une grande inquiétude se manifeste dans la population qui garde en mémoire le désastre de Singani en 1977 et les épisodes explosifs de 2005. Du 16 au 18 janvier, la sismicité baisse à la fois en fréquence et en intensité. Le 17, un survol du volcan, organisé par le COSEP, permet la localisation du lieu de l'éruption et l'absence d'activité anormale sur le sommet du Karthala. Une sismicité réduite perdure toutefois durant plusieurs semaines. Durant toute cette période, l'OVK reste en alerte et en relation constante avec le COSEP et les autorités comoriennes.

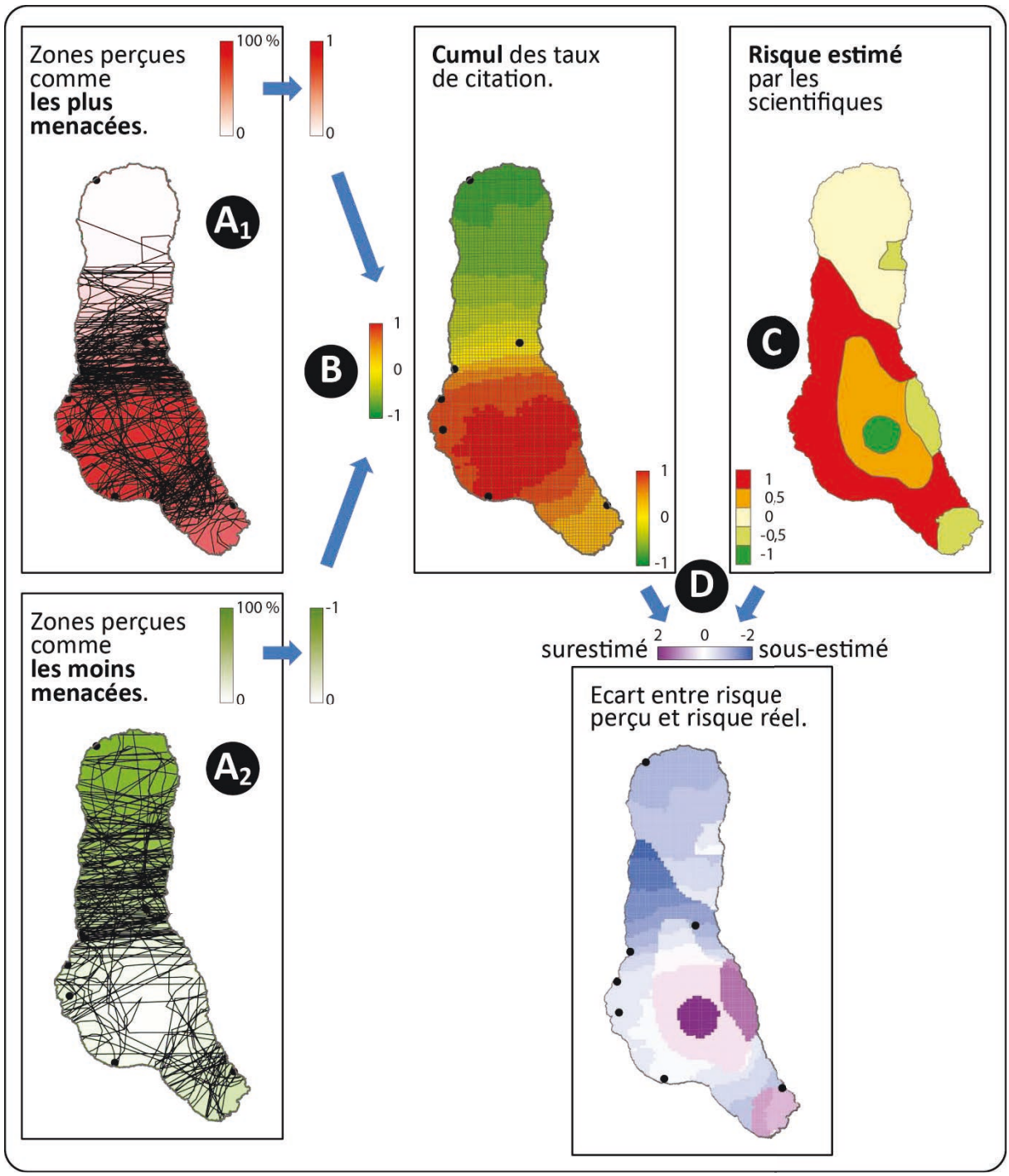
## Annexe 20. LES PROJETS DE REDUCTION DES RISQUES VOLCANIQUES EN GRANDE COMORE

De nombreux projets portant sur la réduction du risque volcanique en Grande Comore ont vu le jour depuis la création de l'Observatoire Volcanologique du Karthala. Nous les détaillons ici, en précisant, le cas échéant, notre implication dans les phases de conception et de réalisation du projet.

| Intitulé du projet | Institution porteuse | Période de mise en œuvre | Contribution de cette thèse à la : | |
|---|---|---|---|---|
| | | | conception du projet | réalisation du projet |
| Appui à l'Observatoire Volcanologique du Karthala | SCAC | 1988-2007 | non | non |
| Actions de sensibilisation ponctuelles pour la protection du réseau de surveillance volcanologique | OVK | 2000-2003 | non | non |
| Interventions pour soutien scientifique et technique lors des crises éruptives ou hors crise | LGSR-IPGP | 1986 - …. | non | oui |
| Coopération en matière de Recherches Environnementales aux COMores | LGSR | 2006-2009 | oui | oui |
| Allocation Régionale de Formation Doctorale « Gestion des crises volcaniques et comportement des populations en milieu insulaire volcanique » | Région Réunion | 2006-2009 | oui | oui |
| Mise en place d'une plateforme nationale pour améliorer la gestion des catastrophes | ISDR | 2003-2005 | non | non |
| Projet pilote Renforcement des capacités du Croissant-Rouge Comorien et sensibilisation des populations aux risques liés au volcan Karthala. | CRCo-CRF | 2007-2008 | oui | oui |
| Appui institutionnel et communautaire à la gestion de l'alerte et à la réponse en cas d'éruption volcanique | CRCo-CRF | 2008-2010 | oui | non |
| Coopération inter agences sur le relèvement après les catastrophes aux Comores | PNUD | | | |
| - Mission d'évaluation pour la révision du Plan National de Préparation à l'Urgence | | Mai 2007 | oui | oui |
| - Mise à jour du Plan National de Préparation à l'Urgence | | Aout 2007 | oui | non |
| - Volet « information et sensibilisation du public » | | 2007-2008 | oui | non |
| - Colloque international sur le Karthala « Maîtrise et Valorisation » | | Novembre 2008 | oui | oui |
| - Conception du Plan de Contingence de l'Union des Comores | | Novembre 2008 | non | oui |
| Projet de sentier touristique pour la montée au volcan | JCI | 2007-2010 | non | non |
| Journée Portes Ouvertes autour du Karthala au COSEP | | Mai 2007 | non | non |
| Atelier de formation des médias aux techniques de communication scientifique | SCAC | *annulé* | oui | non |
| Prévention et gestion des Risques naturels et des Catastrophes | COI | 2010-2015 | non | non |

## Annexe 21. METHODOLOGIE POUR UNE COMPARAISON CARTOGRAPHIQUE DU RISQUE PERÇU ET DU RISQUE TEL QUE CONSIDERE PAR LES SCIENTIFIQUES.

Plusieurs étapes de traitement des informations recueillies auprès des populations ont été nécessaires afin d'aboutir à une cartographie du risque perçu.

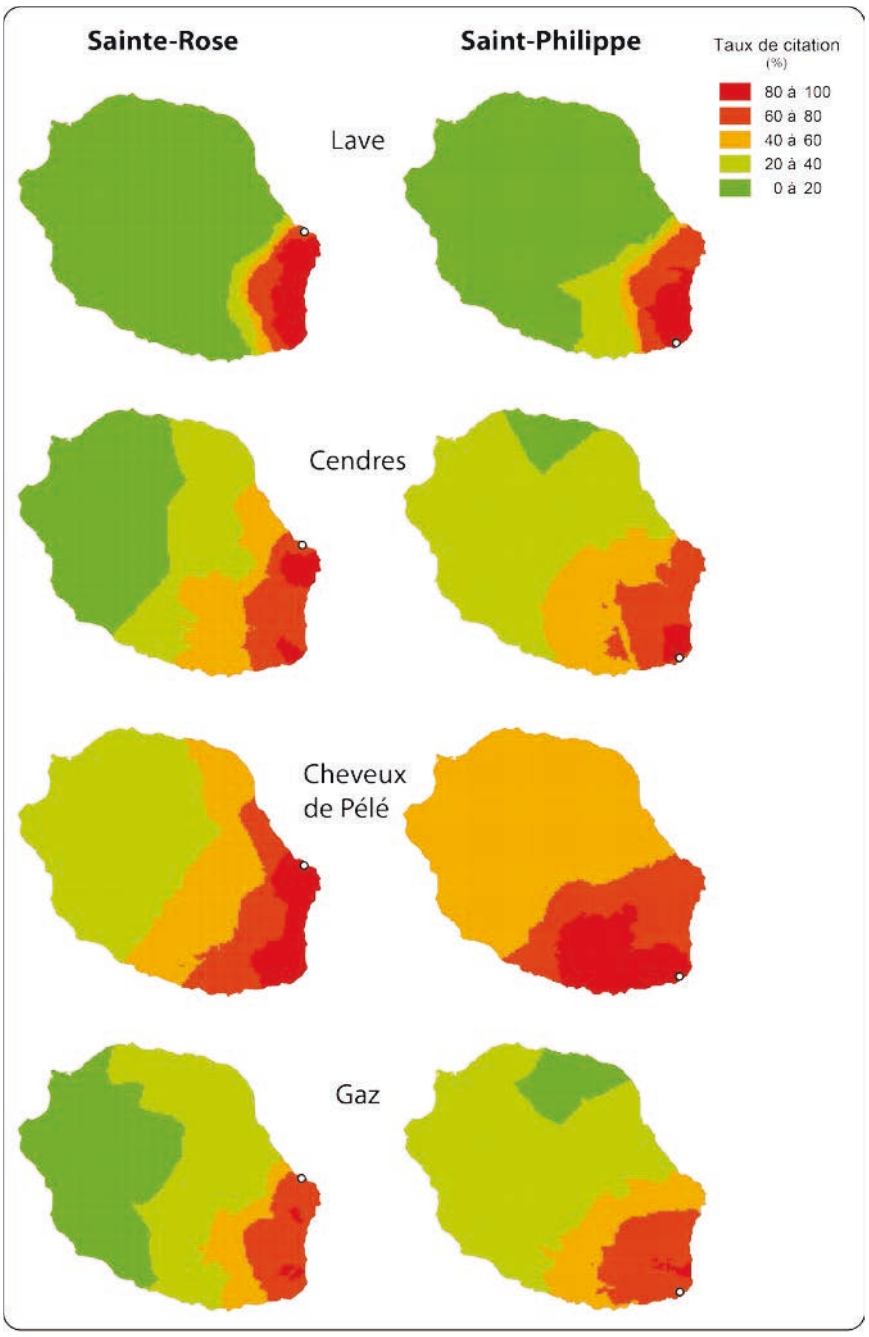



Une première étape consiste à digitaliser les zones perçues comme les plus menacée (A1) et les moins menacées (A2) par les personnes interrogées qui ont bien voulu spatialiser cette perception sur les cartes qui leur étaient soumises. Une fois chaque surface digitalisée, on découpe le territoire en autant d'intersections

et on calcule un taux de citation propre à chaque polygone issu de cette découpe. Le taux est calculé par un rapport entre nombre de citation pour chaque polygone et nombre total d'interrogés. Aucune discrétisation n'est faite, ce qui fournit une carte apparaissant en dégradé compte tenu du nombre élevé de valeurs différentes. Une seconde étape B consiste à attribuer une valeur positive aux espaces considérés comme menacés par les populations (0 et 1 correspondant respectivement à 0 et 100% de taux de citation) et une valeur négative aux espaces considérés comme non menacés (0 et -1 correspondant respectivement à 0 et 100% de taux de citation). Le cumul de ces deux valeurs permet ici d'attribuer un score à chaque pixel composant l'espace étudié. Une troisième étape C consiste à attribuer un score compris entre 1 et -1 aux espaces considérés à risque (1) et sans risque (-1) par la communauté scientifique. Enfin, une ultime étape D propose de mesurer les écarts entre risque perçu tel que cartographié en B et risque réel tel que cartographié en C. La carte des écarts permet ainsi de voir quels espaces sont considérés à risque à tort par les populations (surestimé, violet) ou sans risque bien qu'ils le soient (sous-estimé, bleu).

## Annexe 22. Representation des aleas volcaniques menaçant La Reunion par les Saint-Philippois et les Saint-Rosiens

La synthèse des espaces perçus comme menacés montre une variation des représentations en fonction du lieu de vie des interrogés. Les zones les plus citées comme menacées par les différents aléas sont « tirées » vers la ville d'origine. Quel que soit l'aléa on se sent plus exposé que son voisin. Le phénomène est d'autant plus accentué pour le cas de Sainte-Rose qui a une vision spatialement plus limitée de l'emprise des aléas. Les habitants de Saint-Philippe ont une représentation de cette emprise plus conforme aux cartes d'aléas disponibles dans le DDRM.




En ce qui concerne la Réunion, ces résultats n'apportent pas d'éléments utilisables par des gestionnaires de crise.

# Annexe 23. BOITE A IMAGES : COMPORTEMENTS A ADOPTER

**Réalisée dans le cadre du Projet pilote de renforcement des capacités du croissant-rouge comorien et de sensibilisation des populations aux risques liés au volcan Karthala**

**Dans la version originale, les vingt images sont présentées en A4. Les recommandations ne sont pas en couleur et ne sont pas montrées aux populations : elles servent uniquement de pense-bête aux volontaires impliqués dans la campagne de sensibilisation.**

**COMPORTEMENTS A EVITER EN PHASE ALERTE**

**Un volontaire alerte la communauté qu'il y a une éruption imminente du volcan et qu'il faut rejoindre les lieux surs.**

Les gens se paniquent et courent dans tous les sens.

1) Certaines emportent précipitamment tout ce qu'ils peuvent trouver sans les empaqueter
2) Une personne se précipite pour chercher ses enfants à l'école
3) Un enfant quitte précipitamment sa maison
4) Une autre personne se précipite dans son véhicule pour fuir.

**COMPORTEMENTS A ADOPTER EN PHASE ALERTE**

**Un volontaire alerte la communauté qu'il y a une éruption imminente du volcan et qu'il faut rejoindre le lieu sûr. Il rappelle son emplacement.**

Les gens vont **calmement chercher leur sac d'urgence et se dirigent vers leur habitation**.

1) Ils préparent leur sac d'urgence qui contient ce qui est nécessaire :
   - Une radio
   - Une lampe de poche
   - Des piles de rechange
   - De l'eau potable
   - Des boites de conserve
   - Une couverture
   - Quelques vêtements de rechange
   - Des papiers personnels bien rangés
   - Etc.
2) Ils écoutent la radio pour avoir de plus amples informations.

COMPORTEMENTS A EVITER EN PHASE D'ALERTE

**Un volontaire annonce que l'activité du volcan augmente mais que pour l'instant, il n'est pas nécessaire d'évacuer, il vaut mieux rester chez soi et écouter la radio et la télévision.**

**1)** Les gens élèves continuent seuls de jouer dans la cours de l'école
**2)** Les parents se précipitent vers l'école pour récupérer leurs enfants.

COMPORTEMENTS A ADOPTER EN PHASE ALERTE

**Un volontaire annonce que l'activité du volcan augmente mais que pour l'instant, il n'est pas nécessaire d'évacuer, il vaut mieux rester chez soi et écouter la radio et la télévision.**

**1)** Les élèves restent dans la salle de classe de l'école sous la surveillance et la responsabilité du maître d'école.
**2)** Les parents restent chez eux et font confiance au maître d'école.

COMPORTEMENTS A EVITER EN CAS DE RETOMBEES DE CENDRES

Dans un village qui reçoit des retombées de cendres dans l'air,

1) un habitant :
   - Laisse ouvertes les portes et les fenêtres de sa maison ; le toit de sa maison reçoit beaucoup des cendres et risque de craquer sous le poids des cendres.
   - Laisse non couverte la citerne et ne débranche pas le tuyau d'alimentation d'eau.
2) Des enfants continuent de jouer dans la rue.
3) Un adulte porte des vêtements courts qui ne protègent pas tout son corps.
4) Une chèvre est laissée dehors et continue à brouter de l'herbe souillée par les cendres

COMPORTEMENTS A ADOPTER EN CAS DE RETOMBEES DES CENDRES

Dans un village qui reçoit des retombées de cendres dans l'air :

1) Des gens portent des vêtements longs, placent un tissu humide sur la bouche et le nez et se protègent les yeux avec des lunettes.
2) Ils se réfugient dans une maison qui a un toit couvert de cendres mais qui est solide.
3) Ils restent dans la maison avec toutes les ouvertures fermées avec des morceaux de tissu et écoutent les informations à la radio ou à la télévision.
4) La citerne est couverte et le tuyau d'alimentation est débranché.
5) Un éleveur met à l'abri sa chèvre.

COMPORTEMENTS A EVITER EN CAS DE COULEE DE LAVE

**Une coulée de lave descend dans une vallée, se dirige vers un village, risque de l'inonder et d'endommager des maisons, de brûler vif des animaux.**

1) Des personnes trop curieuses se dirigent vers la coulée pour la regarder ; l'une d'elles s'approche de trop et se brûle.
2) Une autre personne commet l'imprudence de traverser une coulée de lave refroidie ; elle tombe dans un trou.

COMPORTEMENTS A ADOPTER EN CAS DE COULEE DE LAVE

**Une coulée de lave descend dans une vallée, se dirige vers un village, risque de l'inonder et d'endommager des maisons, de brûler vif des animaux.**

1) Les habitants du village se dirigent calmement vers une colline proche du village qui a été identifiée avant, aménagée et entretenue.
2) Un volontaire indique la direction aux villageois

COMPORTEMENTS A EVITER EN CAS DE COULEE DE BOUE

**Il pleut beaucoup. Une coulée de boue descend dans une vallée et arrive près d'un village en faisant du bruit.**

1) Une personne d'approche pour voir ce que c'est.
2) Une autre personne traverse la vallée.
3) Des enfants continuent de jouer au milieu de la vallée.

COMPORTEMENTS A ADOPTER EN CAS DE COULEE DE BOUE

**Il pleut beaucoup. Une coulée de boue descend dans une vallée et arrive près d'un village en faisant du bruit.**

1) Les villageois se réunissent et appellent les enfants
2) Tout le monde monte vers une colline proche.

COMPORTEMENTS A EVITER EN CAS D'EMANATIONS DE GAZ

**Une vallée traverse un village. Dans la vallée, on voit des gens qui sont tombés par terre et qui ont l'air endormi.**

De la partie haute du village, des personnes descendent pour aller voir ce qui se passe. Certaines se mettent à tousser.

COMPORTEMENTS A ADOPTER EN CAS D'EMANATIONS DE GAZ

**Une vallée traverse un village. Dans la vallée, on voit des gens qui sont tombés par terre et qui ont l'air endormi.**

Les autres villageois s'en aperçoivent et se réfugient en hauteur (collines, étage des maisons).

COMPORTEMENTS A EVITER EN CAS DE TREMBLEMENT DE TERRE

**Dans un village, subitement le sol se met à trembler ainsi que les maisons.**

Dans une habitation :

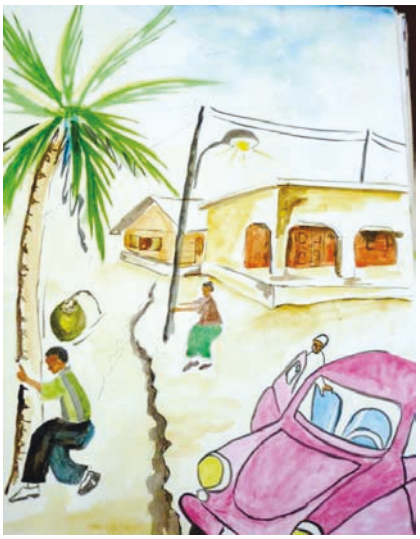
1) Une lampe électrique se décroche et tombe sur une personne qui est en train d'essayer de sortir de la maison.
2) Un autre objet tombe d'un meuble sur une seconde personne.

COMPORTEMENTS A ADOPTER EN CAS DE TREMBLEMENT DE TERRE

**Dans un village, subitement le sol se met à trembler ainsi que les maisons.**

Dans une habitation :

1) Une personne s'est mise sous un encadrement de porte et se protège la tête avec les mains.
2) Une autre personne s'est mise sous une table solide et elle tient un pied de la table avec ses mains.

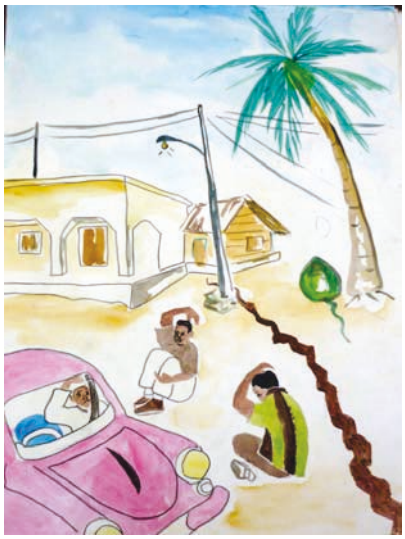


COMPORTEMENTS A EVITER EN CAS DE TREMBLEMENT DE TERRE

**Dans un village, subitement le sol se met à trembler ainsi que les maisons.**

A l'extérieur

1) Une personne se protège sous un cocotier.
2) Une autre personne s'écarte d'une maison mais se trouve sous une ligne électrique



COMPORTEMENTS A ADOPTER EN CAS DE TREMBLEMENT DE TERRE

**Dans un village, subitement le sol se met à trembler ainsi que les maisons.**

A l'extérieur

1) Une personne est assise et se protège la tête avec les mains. Elle s'est écartée loin des bâtiments, des arbres et des fils électriques.
2) Une voiture s'est arrêtée et le passager a gardé sa ceinture de sécurité et se protège la tête.

COMPORTEMENTS A EVITER EN CAS DE TSUNAMI

**La mer se retire subitement et très loin laissant vide d'eau le fond de la mer et des poissons qui se débattent.**

1) Plusieurs personnes s'approchent du bord de la mer et observent le retrait de la mer.
2) Un pêcheur prépare sa barque.

COMPORTEMENTS A ADOPTER EN CAS DE TSUNAMI

**La mer se retire subitement et très loin laissant vide d'eau le fond de la mer et des poissons qui se débattent.**

1) Les pêcheurs se trouvant à terre alertent la population
2) La population se dirige calmement le plus loin possible vers les hauteurs.

**La vague se rapproche avec un grand bruit**

Les gens se réfugient sur le toit des maisons ou sur des arbres (pas le cocotier).

COMPORTEMENTS A EVITER EN FIN D'ALERTE

**Dans un village, un volontaire annonce la fin de l'éruption volcanique en faisant du porte à porte**

1) Une personne essaie de téléphoner l'Observatoire et une autre tente d'appeler par téléphone sa famille.
2) Une grand-mère et sa petite fille essaient de se déplacer dans la rue et un garçon passe à côté sans les aider.
3) Une autre personne tente d'entrer dans sa maison endommagée et risque de se blesser.

COMPORTEMENTS A ADOPTER EN FIN D'ALERTE

**Dans un village, un volontaire annonce la fin de l'éruption volcanique aux villageois regroupés dans le lieu sûr.**

1) Les secouristes apportent les premiers soins.
2) Les personnes valides aident les personnes âgées, handicapées et les enfants à se déplacer.
3) Une personne fait très attention avant de rentrer dans sa maison endommagée car elle a peur qu'un objet lui tombe dessus.
4) Une autre personne écoute les informations à la radio.

## Annexe 24. CAHIER DES CHARGES FONCTIONNELLES DE L'APPLICATION « MAIN COURANTE ELECTRONIQUE »

NB Ce cahier des charges a été concu avec le concours de Morgan Le Sellin, ingénieur informaticien.

- ***Objectifs***

L'application « main courante électronique » comprend d'une part un système de stockage ou base de données et d'autre part un ensemble d'interfaces facilitant la saisie, l'enregistrement, la consultation et l'extraction des données. Le tableau suivant décrit ces variables :

| Variable | Type | Obligatoire | Automatique (rempli par le serveur) | Valeur par défaut |
|---|---|---|---|---|
| Identifiant unique de la fiche | Libre | X | X | Incrémentale |
| Date et heure de saisie | Horodatage | X | X | Date et heure de saisie |
| Identifiant de l'opérateur | Texte | X | X | Identifiant de l'utilisateur |
| Date et heure de l'incident | Horodatage | X | | Date et heure de saisie |
| Localisation GPS | Données GPS | X | | Sur mobile si géolocalisation active : localisation de l'utilisateur |
| Description | Texte | | | Sans |
| Moyens humains | 4 valeurs au choix | | | Sans |
| Moyens humains commentaires | Texte | | | Sans |
| Moyens matériels | 4 valeurs au choix | | | Sans |
| Moyens matériels commentaires | Texte | | | Sans |
| Type communication | 5 valeurs au choix | | | Sans |
| Communication fréquence | 4 valeurs au choix | | | Sans |
| Communication commentaires | Texte | | | Sans |
| Type communication 2 | 5 valeurs au choix | | | Sans |
| ... | | | | |

- ***Base de données***

BASDD1 : La base de données doit être en capacité de contenir de l'ordre d'un millier de fiches.

BASDD2 : La base de données doit supporter de l'ordre d'une dizaine de connexions simultanées.

BASDD3 : Les fiches n'ont pas de durée de vie particulière. Il sera de la responsabilité des administrateurs de les archiver.

BASDD4 : La base de données doit être accessible via un protocole standard (exemple : SQL).

BASDD5 : L'accès de la base de données doit être sécurisé par un identifiant et un mot de passe.

BASDD6 : La base de données doit pouvoir être sauvegardée sur un support autre que le serveur.

- ***Interfaces***

INTERF1 : L'ensemble des interfaces doit garantir la sécurité et l'intégrité des données.

INTERF2 : L'ensemble des interfaces doit garantir l'intégrité du serveur.

INTERF3 : L'ensemble des interfaces doit être pensé en termes d'ergonomie pour l'utilisateur quel que soit le type d'accès.

- ***Capture d'incident***

CAPTU1 : Cette page doit permettre aux utilisateurs de renseigner des fiches d'incidents conformes à la description.

CAPTU2.1 : Cette page doit permettre de transmettre les fiches dûment complétées à la base de données.

CAPTU2.2 : L'interface doit indiquer à l'utilisateur le statut de la transmission (réussite ou échec de la transmission)

CAPTU2.3 : En cas d'échec de transmission d'une fiche, l'interface doit proposer à l'utilisateur de sauvegarder la fiche en local (sur son poste qu'il soit fixe ou mobile).

CAPTU3.1 : L'interface doit permettre à l'utilisateur de stocker les fiches, complètes ou non, en local en cas de non disponibilité d'un accès à la base de données quelle qu'en soit la raison.

CAPTU3.2 : L'interface doit permettre à l'utilisateur de transmettre des fiches sauvegardées localement.

CAPTU4.1 : L'utilisateur doit pouvoir entrer une localisation GPS manuellement.

CAPTU4.2 : L'utilisateur doit pouvoir entrer une localisation GPS en cliquant sur une carte.

CAPTU4.3 : Depuis un poste mobile équipé d'un capteur GPS, l'utilisateur doit pouvoir choisir sa position courante comme position GPS de la fiche en cours.

CAPTU5 : Quel que soit le mode d'entrée de la localisation GPS, celle-ci devra être immédiatement repérable sur une carte intégrée à la page de capture.

- ***Consultation des incidents***

CONSU1 : La page de consultation doit permettre aux utilisateurs de visualiser sous forme d'un tableau les fiches de la base de données auxquels ils ont accès suivant leur niveau d'habilitation.

CONSU2 : La page de consultation doit permettre aux utilisateurs de trier les fiches par date et par localisation.

CONSU3 : La page de consultation doit permettre à l'utilisateur de visualiser et sélectionner des fiches suivant des critères de date et de localisation.

CONSU4 : La page de consultation doit permettre de supprimer une ou plusieurs fiches sélectionnées si le niveau d'habilitation de l'utilisateur le lui permet.

CONSU5 : La page de consultation doit permettre d'importer une ou plusieurs fiches sélectionnées au minimum dans un format XLS si le niveau d'habilitation de l'utilisateur le lui permet.

CONSU5.2 : Le type de fichier d'import pourra évoluer en même temps que les outils en permettant la lecture (XML).

CONSU6 : La page de consultation doit permettre le lien vers la consultation d'une fiche au choix dans la limite du niveau d'habilitation de l'utilisateur.

- ***Carte des incidents***

CONSU7 : La page de consultation doit permettre de visualiser sur une carte l'ensemble des incidents sélectionnés.

CONSU8 : Une sélection ou un passage sur un repère localisant l'incident sur la carte doit permettre d'afficher des informations détaillées sur la fiche (titre, horodatage de l'incident).

CONSU9 : Un double clic, un bouton ou un autre système de sélection d'un repère de la carte doit permettre de consulter directement la fiche incident en question.

- ***Consultation des fiches incidents***

CONSF1 : La fiche incident présentée doit être complète et conforme aux données enregistrées dans la base.

CONSF2 : La localisation associée à la fiche présentée doit être repérée sur une carte.

CONSF3 : Depuis cette page, l'utilisateur doit pouvoir supprimer la fiche.

- ***Edition - modification de fiches***

CONSF4 : Depuis cette page l'utilisateur doit pouvoir éditer et modifier les informations de la fiche dans la limite de son niveau d'habilitation.

CONSF5 : Deux utilisateurs ne doivent pas pouvoir éditer la même fiche en même temps.

CONSF6 : L'utilisateur qui tenterait d'éditer une fiche en cours de modification doit être alerté de la non disponibilité de cette fiche en édition.

CONSF7 : L'utilisateur doit pouvoir enregistrer localement des brouillons de modifications de fiches.

CONSF8 : Le système doit conserver un historique des modifications de fiches incluant au minimum l'identifiant du modificateur et l'heure et la date de modification.

CONSF9 : L'utilisateur doit être averti si une fiche qu'il tente de modifier a été réalisée à partir d'une copie non à jour.

CONSF10 : L'utilisateur doit confirmer la modification avant l'envoi.

- ***Accessibilité***

ACCES1 : L'ensemble des interfaces devra être accessible depuis un poste fixe.

ACCES2 : L'ensemble des interfaces devra être accessible depuis un poste mobile.

- ***Sécurité***
  - ***Identification***

IDENT1 : Les utilisateurs devront s'authentifier par un identifiant et un mot de passe. Cette authentification permettra d'accéder de façon sécurisée aux différentes applications suivant leur niveau d'habilitation.

  - ***Transfert de données***

TRANS1 : Les identifiants et mots de passe des utilisateurs envoyés sur un réseau non sécurisé doivent être cryptés.

TRANS2 : Les fiches transférées sur un réseau non sécurisé (complètes ou non) doivent être cryptées.

  - ***Administration***

ADMIN1 : Une interface d'administration permettra aux administrateurs de créer et supprimer des utilisateurs (y compris d'autres administrateurs).

ADMIN2 : Le système doit sauvegarder dans un système de log toutes les opérations réalisées par l'administrateur pour un délai de X jours/mois/ans.

  - ***Niveaux d'identification (droits utilisateurs)***

Les niveaux d'utilisation sont résumés dans le tableau ci-dessous.

| Fonction | Niveau 0 : utilisateur standard | Niveau 1 : utilisateur amélioré | Niveau 2 : super utilisateur | Niveau 3 : administrateur |
|---|---|---|---|---|
| **Créer de nouvelles fiches** | X | X | X | X |
| **Modifier ses fiches** | X | X | X | X |
| **Supprimer ses fiches** | X | X | X | X |
| **Consulter ses fiches** | X | X | X | X |
| **Modifier toutes les fiches** | | | X | X |
| **Supprimer toutes les fiches** | | | X | X |
| **Consulter toutes les fiches** | | X | X | X |
| **Extraire des données** | | | X | X |
| **Créer des comptes utilisateurs/administrateur** | | | | X |
| **Supprimer des comptes utilisateurs /administrateur** | | | | X |

# Annexe 25. QUESTIONNAIRE "RETOUR D'EXPERIENCE SUR L'ERUPTION D'AVRIL 2007" (E-RUN3A)

## Comment avez-vous vécu l'éruption d'avril 2007?

**1. Donnez trois mots qui définissent le mieux selon vous l'éruption d'avril 2007**

**2. Quelle a été votre première réaction lorsque vous avez appris le déclenchement de cette éruption ?**

**3. Qu'est-ce qui vous a le plus marqué(e) au cours de cette éruption ?**

**4. Vous êtes-vous rendu(e) sur le volcan pour observer l'éruption ?**

❑ oui ❑ non

**5. Si OUI, quelles ont été vos impressions?**

**6. Si NON, était-ce :**

- ❑ par manque de temps
- ❑ par désintérêt
- ❑ par peur de vous approcher
- ❑ parce que le site est trop éloigné de votre domicile
- ❑ autre raison : précisez

.....

.....

## Les impacts de l'éruption sur votre lieu de résidence

**7. A votre domicile durant l'éruption vous-êtes vous senti(e) en danger par rapport au volcan ?**

❑ oui ❑ non

**8. si oui pourquoi?**

**9. si NON pourquoi?**

❑ loin ❑ autre

**10. Y-a-t-il eu chez vous des retombées de cendres?**

- ❑ non
- ❑ très peu (vous en avez juste aperçu quelques unes)
- ❑ partout en faible quantité
- ❑ partout en quantité importante (essayez de précisez l'épaisseur en cm ou le volume que vous avez ramassé, la durée des retombées, etc.).....

**11. cendres précisions**

**12. Y a-t-il eu chez vous des retombées de cheveux de Pélé ?**

- ❑ non
- ❑ très peu (vous en avez juste aperçu quelques uns)
- ❑ partout en faible quantité
- ❑ partout en quantité importante (si vous le pouvez, essayez de donner des détails)

.....

**13. précisions Pélé**

**14. Y a-t-il eu chez vous des retombées de petits gravillons / galets ?**

- ☐ non
- ☐ très peu (moins d'une dizaine)
- ☐ partout en faible quantité
- ☐ partout en grande quantité (précisez la quantité que vous avez ramassée)
  .....
- ☐ de taille inférieure à 1 mm
- ☐ entre 1 et 5 mm
- ☐ entre 5 mm et 1 cm
- ☐ entre 1 et 2 cm
- ☐ plus de 2 cm

**15. précisions lapilli**

**16. Avez vous senti une odeur particulière?**

- ☐ non
- ☐ oui mais je n'ai pas su l'identifier
- ☐ une odeur de gaz, précisez le gaz si vous le connaissez :
  .....
- ☐ l'odeur de :
  .....

**17. identification du gaz**

- ☐ SO2

**18. autre odeur**

**19. Avez-vous ressenti une gêne (respiratoire, au niveau des yeux, de la peau, etc.) pendant l'éruption?**

- ☐ non
- ☐ respiratoire
- ☐ au niveau des yeux
- ☐ au niveau de la peau
- ☐ autre, précisez
  .....
  .....

**20. gêne précisions**

**21. La végétation près de votre domicile a-t-elle été détériorée?**

- ☐ non
- ☐ oui, décrivez
  .....
  .....

**22. description végétation**

## Votre opinion sur la gestion de l'éruption

**23. Etes-vous satisfait(e) des mesures prises par les autorités face à l'éruption?**

☐ oui ☐ non

**24. Pourquoi?**

**25. Etes-vous satisfait(e) des mesures prises par les scientifiques?**

☐ oui ☐ non

**26. Pourquoi?**

**27. Etes-vous satisfait(e) de l'information transmise par les médias ?**

☐ oui ☐ non

**28. Pourquoi?**

**30. Lesquelles?**

**29. Si vous jugez que la gestion de cette crise volcanique aurait pu être améliorée, avez-vous des mesures à proposer ?**

❑ oui ❑ non

## La communication autour de l'éruption

**31. Quelle a été votre principale source d'information pendant l'éruption ? (vous pouvez cocher plusieurs cases)**

❑ radio ❑ television ❑ presse ecrite
❑ bouche a oreille ❑ autre

**32. precision radio**

❑ Freedom ❑ RFO ❑ RER

**33. precision télévision**

❑ Antenne Reunion ❑ RFO

**34. precision presse ecrite**

❑ JIR ❑ Quotidien

**35. precisions autre source info**

**36. Si vous recherchez une information sur le Piton de la Fournaise, où irez-vous préférentiellement ?**

❑ sur internet en cliquant Piton de la Fournaise sous un moteur de recherche
❑ sur le site internet de l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise
❑ sur le site internet de la Maison du volcan
❑ sur le site internet du Centre de Documentation et de Diffusion sur le volcanisme
❑ sur un autre site internet, précisez .....
❑ dans la presse ou les livres, précisez .....
❑ en vous déplaçant à l'Observatoire Volcanologique
❑ en vous déplaçant à la Maison du Volcan
❑ autre, précisez :.....

**37. recherche info precision autre site internet**

**38. recherche info precision presse ou livres**

**39. recherche info autre**

**40. Comment pensez vous que l'activité du Piton de la Fournaise va évoluer ces prochaines semaines ?**

## Quelques renseignements sur vous

**41. Quelle ville et quartier habitez-vous ?**

**42. Quelle est votre année de naissance ?**

**43. Vous êtes de sexe**

❑ masculin ❑ féminin

**44. Si vous souhaitez que je vous tienne informé(e) des résultats de cette enquête et de la poursuite de ces travaux sur la gestion du risque volcanique à la Réunion, laissez vos coordonnées ici :**

## Annexe 26. SONDAGE DES PERSONNES REALISANT LE TOUR DES CRATERES (E-RUN6)

1] Etes-vous : une femme □ un homme □

2] Etes-vous :
Résident(e) permanant(e) à l'île de La Réunion □
Résident(e) permanant(e) en France Métropolitaine □
Autre, veillez préciser : ……. □

3] Vous avez :
Moins de 14 ans □
Entre 15 et 24 ans □
Entre 25 et 34 ans □
Entre 35 et 44 ans □
Entre 45 et 54 ans □
Entre 55 et 64 ans □
Plus de 65 ans □

4] Quelle est votre catégorie socioprofessionnelle ?

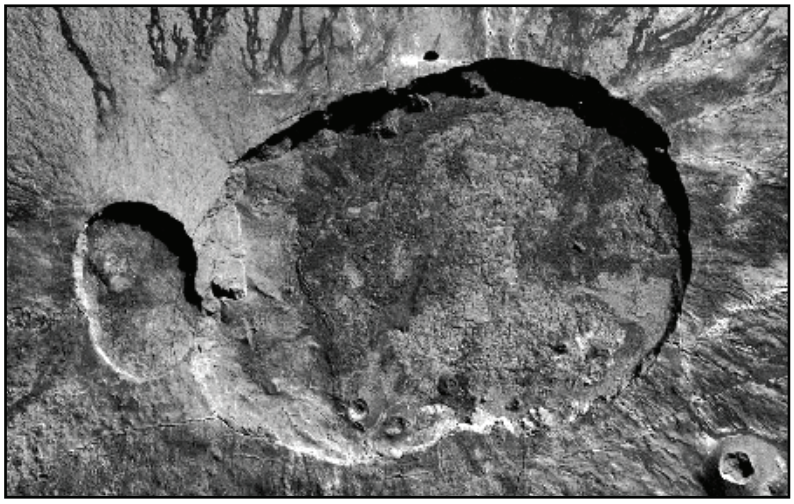
5] De quelle commune venez-vous : …… Code Postal : ……..

6] Aviez-vous effectué le Tour des Cratères avant l'effondrement du Dolomieu ?

Oui □ Non □

7] Pouvez-vous par un point indiquer sur la carte ci-dessous l'endroit où vous êtes actuellement ?

170 m



NORD

8] Quelle est selon-vous la zone la plus dangereuse du sentier du Tour des Cratères ? Veuillez entourer cette zone sur la carte précédente puis expliquer au recto de cette feuille le choix de cette zone.

9] Au sommet, l'interdiction d'accès se justifie-t-elle ?
Totalement □
Pas du tout □
Uniquement entre le sentier et le bord du Dolomieu □

10] Pourquoi ?

11] Sur place, avez-vous été :
Uniquement sur le sentier du Tour des Cratères □
A moins de 40 m du bord du Dolomieu □
A moins de 10 m du bord du Dolomieu □
A moins de 2 m du bord du Dolomieu □

Si Vous n'avez pas été à moins de 10 mètres du bord du Dolomieu,
veuillez passer directement à la question 17.

12] Lorsque vous étiez au plus proche du bord du Dolomieu, combien de temps y êtes-vous resté(e) ?

Quelques secondes (le temps d'une ou deux photos par exemple) □
Une à deux minutes □
Entre 3 et 5 minutes □
Entre 5 et 10 minutes □
Plus de 10 minutes □

13] Pourquoi avez-vous approché le Dolomieu à moins de 10 mètres (plusieurs réponses possibles)?

Pour voir et avoir des photos du cratère □
Pour l'adrénaline ou pour une quelconque sensation forte □
Parce-que c'est interdit □
Parce-que je considère qu'il n'y a pas de risque à y être □

14] Qu'avez-vous fait lorsque vous étiez à moins de 10 mètres du Dolomieu (plusieurs réponses possibles)?

Juste quelques photos □
Aller au plus proche du bord □
Jeter des cailloux dans le Dolomieu □
Se pencher afin de voir le fond ou les remparts du Dolomieu □

15] Avez-vous enjambé une fracture pour aller à moins de 10 mètres du bord ?

Oui □ Non □

16] Si oui, quelle était environ la dimension de cette fracture (en centimètres) ?

Réponse : ……. cm

17] A quel endroit êtes-vous resté(e) le plus longtemps et pourquoi ?

18] Combien de temps envisagez-vous de rester sur le sentier du Tour des Cratères ?

Moins de 30 minutes □
Entre 30 minutes et 1 heure □
Entre 1 heure et 1H30 □
Entre 1H30 et 2 heures □
Plus de 2 heures □

19] Etes-vous actuellement en possession de :

Chaussures adaptées □
Protection contre le froid ou la pluie □
Couvre-chef □
Crème solaire □
Protection visuelle □
Autonomie en eau □
Autonomie en nourriture □
GSM □

S'être préalablement informé(e) des conditions météorologiques □
S'être préalablement informé(e) du dénivelé □
Avoir préalablement informé une tierce personne de votre randonnée □
Etre accompagné(e) d'au moins une personne autonome □
Connaître le numéro de téléphone du PGHM □
Avoir une trousse de secours □
Connaître le niveau actuel du Plan Spécialisé Volcan □
Connaître le signe visuel d'appel à l'aide □

20] Le seul fait d'être au sommet constitue-t-il un danger ?

Oui □ Non □

21] Pourquoi ?

22] Avez-vous le sentiment de vous être mis(e) volontairement en danger, même un court instant ?

Oui □ Non □

23] Pourquoi ?

24] Si une plate-forme d'observation était installée :

Derrière le Cratère Bory

J'utiliserai uniquement la plate-forme

et ne ferai pas le Tour des Cratères □

Je ferai quand même le Tour des Cratères □

Pourquoi ?

Complètement à l'Est du Dolomieu

J'utiliserai uniquement la plate-forme

et ne ferai pas le Tour des Cratères □

Je ferai quand même le Tour des Cratères □

Pourquoi ?

25] Quel danger pensez-vous courir au sommet et pourquoi?

26] Pourquoi êtes-vous venu(e) sur le sentier du Tour des Cratères malgré son interdiction d'accès en vigueur depuis avril 2007 ? (Plusieurs réponses possibles)

27] Que feriez-vous si la randonnée du Tour des Cratères était encadrée par un guide spécialisé et capable d'expliquer l'environnement du Piton de la Fournaise (faune, flore, histoire géologique, dispositif de surveillance du volcan, etc.) ?

□ Je continuerais à me rendre au sommet du Dolomieu sans guide
□ J'accepterais d'être encadré(e) par ce guide uniquement si cela est gratuit
□ J'accepterais d'être encadré(e) par ce guide même si cela est payant, mais sans que cela ne dépasse les …….euros par personne.

# Annexe 27. GRILLE D'ENQUETE AYANT SERVI DE SUPPORT POUR LA REALISATION DES ENTRETIENS AUX COMORES (E-GC4)

| | | |
|---|---|---|
| Environnement, volcan et aléas volcaniques | **Représentations et vécu** | A quoi vous fait penser le Karthala ? (donnez 3 mots) |
| | | Au début de ce questionnaire je vous ai demandé de citer les trois principales contraintes avec lesquelles vous vivez tous les jours.<br>Parmi vos réponses vous avez-dit « le volcan »/les coulées de boue. Est-ce par ce qu'il s'agit du thème du questionnaire ou est-ce une vraie contrainte pour vous ?<br>thème questionnaire<br>vraie contrainte<br>Si « vraie contrainte », pourquoi est-ce une contrainte ? |
| | | Vous n'avez pas cité « le volcan »: est-ce quand même une contrainte pour vous ? Pourquoi ? |
| | | Considérez-vous que le Karthala est dangereux pour vous/votre famille et vos biens pourquoi ? |
| | | Avez-vous peur du Karthala ? Pourquoi ? |
| | | D'après-vous quels sont les avantages liés au Karthala ? |
| | | La zone où vous habitez peut-elle être menacée si le Karthala entre en éruption ? |
| | | Carte de gauche : Hachurez la zone de la Grande Comore qui selon vous est la plus menacée par le Karthala<br>Carte de droite : Hachurez la zone de la Grande Comore qui selon vous est la moins menacée par le Karthala |
| | | Parmi ces phénomènes associés à une éruption volcanique, quels sont ceux que vous redoutez le plus (3 réponses maximum) ? : |
| | | Selon vous une coulée de lave peut-elle arriver dans votre quartier ? Pourquoi |
| | | Selon vous, quels types de dangers vous menacent le plus à l'endroit où vous vivez/votre village ? |
| | | Etes-vous déjà allé au sommet du Karthala ? |
| | | Quelle éruption du Karthala a le plus marqué vos souvenirs ?<br>Pourquoi ? |
| | **Information / sensibilisation** | Avez-vous déjà reçu des informations sur la prévention des risques volcaniques ? Si OUI, par qui ?<br>Sur quoi ?<br>Par quels moyens ? |
| | | Quelle est l'information la plus importante que vous avez retenue ? |
| | | A l'avenir, sous quelle forme préféreriez-vous recevoir de l'information sur les risques volcaniques ? |
| | | Si ça n'est pas trop indiscret, savez-vous lire ? |
| | | Le Croissant Rouge est venu à Vouvouni donner des informations sur le risque volcanique. Avez-vous assisté aux séances ?<br>Si NON, pourquoi ? |
| | | Si OUI, est ce que vous avez été satisfait des informations qui ont été données ? Pourquoi ? |
| | | Pensez-vous avoir suffisamment d'informations pour savoir quoi faire en cas d'éruption ? |
| | **Transmission de l'information pendant les éruptions** | Quelle est votre principale source d'information pendant les éruptions (plusieurs réponses possibles) ? |
| | | Etes-vous satisfait(e) de l'information transmise par les médias pendant les éruptions ?<br>pourquoi ? |
| | **Comportements à adopter** | Connaissez-vous les signes qui annoncent qu'une éruption va bientôt se produire ?<br>Si oui, décrivez-les : |
| | | Connaissez-vous les différents niveaux d'alerte ?<br>Si OUI, pouvez-vous les citer ?<br>Dans tous les cas, qu'est-ce que vous évoque l'alerte rouge ? |
| | | Les couleurs vert et jaune veulent dire que le volcan est calme. L'alerte orange qu'il s'agite et va probablement entrer en éruption. L'alerte rouge signifie qu'une éruption s'est déclenchée.<br>Trouvez-vous qu'utiliser ce code de couleurs pour l'alerte est une bonne chose ou est-ce qu'un autre type d'alerte vous conviendrait mieux, lequel ? |
| | | Les autorités ont établi des consignes de sécurité à suivre en cas d'éruption. Les connaissez-vous ? |

<table>
<tr><td rowspan="11">Gestion des risques et des crises</td><td></td><td>Que faut-il faire pour être bien préparé pour faire face à une éruption ?</td></tr>
<tr><td></td><td>Imaginez que nous venons de passer en alerte orange, que faites-vous ?</td></tr>
<tr><td></td><td>Imaginez maintenant que le volcan vient d'entrer en éruption, nous sommes en alerte rouge, que faites-vous ?</td></tr>
<tr><td></td><td>D'après-vous, que faut-il faire si des cendres se mettent à tomber ?</td></tr>
<tr><td></td><td>D'après vous, que faut-il faire en cas de tremblement de terre ?</td></tr>
<tr><td></td><td>D'après-vous, que faut-il faire si la mer se retire subitement très loin ?</td></tr>
<tr><td></td><td>Face à la menace, vous écoutez en priorité l'avis :</td></tr>
<tr><td></td><td>Si une évacuation est déclenchée par les autorités, que faites-vous ? Pourquoi ce choix ?</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Acteurs de la gestion</td><td>Qui s'occupe de la surveillance du Karthala ?</td></tr>
<tr><td>Qui s'occupe de la protection des populations en cas d'éruption ?</td></tr>
<tr><td>Avez-vous déjà entendu parler du COSEP ?<br>Si OUI, quel est son rôle ?</td></tr>
<tr><td>Face aux risques volcaniques, en qui avez-vous le plus confiance : pour vous informer / pour vous préparer à faire face aux risques / pour vous porter secours Pourquoi ?</td></tr>
<tr><td>Y-a-t-il un ou des acteur(s) dans lequel ou lesquels vous n'avez pas confiance du tout ? Si oui, pourquoi ?</td></tr>
<tr><td>Jugez-vous que la gestion des catastrophes à Ngazidja peut être améliorée ?<br>pourquoi ?</td></tr>
<tr><td></td><td>Avez-vous des mesures à proposer pour l'améliorer ? lesquelles ?</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Protection et capacité d'autoprotection</td><td>Pensez-vous que le village est bien préparé pour faire face à une éruption ?<br>pourquoi ?</td></tr>
<tr><td>En cas d'éruption, seriez-vous capable de vous protéger vous et votre famille ?<br>Pourquoi ?</td></tr>
<tr><td>Avez-vous pris des mesures pour limiter l'étendue des dégâts si une nouvelle éruption se produit ?<br>précisez :</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Impact général des éruptions</td><td>Est-ce que les précédentes éruptions et coulées d'eau vous ont causé des pertes ?<br>Qu'avez-vous perdu ?</td></tr>
<tr><td>A combien évaluez-vous ces pertes ?</td></tr>
<tr><td>Qu'est-ce qui a causé ces pertes ?</td></tr>
<tr><td>Si oui comment avez-vous compensé ces pertes ?</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Impact général Mro madji</td><td>Pensez-vous que les réparations des dégâts et pertes après une catastrophe naturelle sont de la responsabilité de l'Etat ou des citoyens ?</td></tr>
<tr><td>La solidarité est-elle renforcée ou diminuée lors des coulées d'eau ou des éruptions ?
<table>
<tr><td></td><td>renforcée</td><td>diminuée</td><td>identique</td></tr>
<tr><td>avec famille</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>voisins</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>quartier</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>village</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>autres villages</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>diaspora</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Est-ce les dernières éruptions ont entraîné une modification de votre mode de vie ?<br>précisez :</td></tr>
<tr><td rowspan="6"></td><td>Qu'est ce qui est le plus difficile quand il y a les mro-madji ? (3 réponses maxi)</td></tr>
<tr><td>Quels bénéfices tirez-vous des mro-madji ?<br>Si vente de sable, précisez les revenus générés :</td></tr>
<tr><td>Quelles précautions avez-vous pris au cas où pour la prochaine fois que les eaux couleront ?</td></tr>
<tr><td>Selon vous, la situation face aux mro-madji est-elle bien gérée par la communauté ? Expliquez pourquoi.</td></tr>
<tr><td>Sur la carte de Vouvouni :<br>- situez votre habitation<br>- hachurez les zones où passent les mro-madji<br>zones où ça coulait au tout début, puis l'évolution</td></tr>
<tr><td>Sur la carte de Ngazidja : Situez la zone où il peut y avoir des coulées de boue</td></tr>
<tr><td></td><td>D'après-vous, que faut-il faire en cas de coulée de lave ou de boue ?</td></tr>
</table>

| | | |
|---|---|---|
| **Eruptions** | **Avril 1977**<br>**Avril 2005**<br>**Novembre 2005**<br>**Mai 2006**<br>**Janvier 2007** | Eruption vécue / pas vécue |
| | | Quelle a été votre toute première réaction quand vous avez su que le volcan était entré en éruption ? |
| | | Comment avez-vous appris la nouvelle de l'éruption ? |
| | | Pendant l'éruption, qui vous a donné les consignes à respecter ? |
| | **Déplacements** | Avez-vous maintenu vos déplacements habituels pendant l'éruption ?<br>Pourquoi les avez-vous maintenus ou annulés ? |
| | | Est-ce que vous vous êtes-vous rendu quelque part spécialement à cause de l'éruption (par exemple parce que vous aviez peur de rester chez vous, que vous vouliez aller aider d'autres gens, aller prier, vous soigner, trouver refuge ailleurs ou parce que les autorités l'ont demandé) ? |
| | | Si OUI, où êtes-vous allé(e)? (remplir les lieux dans le tableau en conséquence avec maxi les trois déplacements majeurs - après ça va faire trop) |
| | | Où êtes-vous allé plus précisément ? Lieu<br>(préciser ville et quartier voire bâtiment) |
| | | Quelle était la raison de ce déplacement ? |
| | | Pourquoi avez-vous pris cette décision ? |
| | | Combien de fois avez-vous fait ce déplacement ? |
| | | Combien de temps a duré le déplacement / l'évacuation ? Durée |
| | | Vous-êtes-vous déplacé immédiatement quand vous avez eu connaissance de l'éruption / Seulement une fois les consignes des autorités reçues |
| | | Combien de personnes de votre entourage ont effectué le déplacement avec vous ? |
| | | Quel moyen de transport avez-vous utilisé ? |
| | | Pourquoi vous êtes-vous déplacé ? |
| | | Avec le recul, ce déplacement était/n'était pas indispensable |
| | | Quels problèmes se sont posés pendant ces déplacements ? |
| | | Uniquement si a évacué : Quand vous avez évacué, quel critère vous a incité à finir l'évacuation et rentrer chez vous ? |
| | | Qu'est-ce qui vous a posé le plus de problèmes lors de cette éruption ? |
| | | Avez-vous pris mes mesures particulières pour vous protéger pendant l'éruption ? lesquelles : |
| | | Selon vous, la crise a-t-elle été bien gérée ? Expliquez pourquoi. |
| | | Comment avez-vous vécu cette éruption ? |
| **Mro-madji de 2005, 2007, 2008, 2009** | **Vécu** | Mro-madji vécus / pas vécus |
| | **Réaction** | Quelle a été votre toute première réaction quand vous avez su qu'il y avait des mro-madji ? |
| | **Déplacements** | Avez-vous maintenu vos déplacements habituels pendant les coulées ? |
| | | Pourquoi les avez-vous maintenus ou annulés? |
| | | Est-ce que vous vous êtes rendu quelque part spécialement à cause de la situation ce jour-là (par exemple parce que vous aviez peur de rester chez vous, que vous vouliez aller aider d'autres gens, aller prier, vous soigner, trouver refuge ailleurs ou parce que les autorités l'ont demandé)? |
| | | Si OUI, où êtes-vous allé(e)? Quartier / ville / hors île |
| | | Où êtes-vous allé plus précisément ? Lieu (préciser ville et quartier voire bâtiment) |
| | | Quelle était la raison de ce déplacement ? |
| | | Pourquoi avez-vous pris cette décision ? |
| | | Combien de fois avez-vous fait ce déplacement ? |
| | | Combien de temps a duré le déplacement / l'évacuation ? Durée |
| | | Vous-êtes-vous déplacé immédiatement quand vous avez eu connaissance de l'éruption / Seulement une fois les consignes des autorités reçues |
| | | Combien de personnes de votre entourage ont effectué le déplacement avec vous ? |
| | | Quel moyen de transport avez-vous utilisé ? |
| | | Pourquoi vous êtes-vous déplacé ? |
| | | Avec le recul, ce déplacement était/n'était pas indispensable |
| | | Quels problèmes se sont posés pendant ces déplacements ? |
| | | Uniquement si a évacué : Quand vous avez évacué, quel critère vous a incité à finir l'évacuation et rentrer chez vous ? |
| | **Information** | En général, comment avez-vous appris qu'il y avait des coulées ? |
| | | Est-ce quelqu'un vous a donné des consignes à respecter ? |

# LISTE DES SIGLES & ABREVIATIONS

**A**

| | |
|---|---|
| AFP | Agence France Presse |
| AMISEC | Forces armées sud-africaines de sécurisation des élections présidentielles |
| AND | Armée Nationale de Développement |
| ARIV | Antenne Réunionnaise de l'Institut de Victimologie |

**B**

| | |
|---|---|
| BET-EF | Bayesian Event Tree for Eruption Forecasting |
| BP | Before Present |
| BRGM | Bureau des Recherches Géologiques et Minières |

**C**

| | |
|---|---|
| CATNAT | CATastrophe NATurelle |
| CBDRM | Community Based Disaster Risk Management |
| CDDV | Centre de Diffusion et de Documentation sur le Volcanisme |
| CDSCRNM | Conseil Départemental de la Sécurité Civile et des Risques Naturels Majeurs |
| CNDRS | Centre National de Documentation et de Recherche Scientifique |
| CNRS | Centre National de la Recherche Scientifique |
| COD | Centre Opérationnel Départemental |
| CODIS | Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours |
| COGIC | Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle des Crises |
| COI | Commission de l'Océan Indien |
| COSEP | Centre national des Opérations de Secours et de Protection civile |
| CRCo | Croissant Rouge Comorien |
| CRED | Centre de Recherche sur l'Epidémiologie des Désastres |
| CRF | Croix Rouge Française |
| CSERV | Comité Supérieur d'Évaluation des Risques Volcaniques |
| CTR | Comité du Tourisme de La Réunion |
| CUMP | Cellule d'Urgence Médico-Psychologique |

**D**

| | |
|---|---|
| DDE | Direction Départementale de l'Equipement |
| DDRM | Dossier Départemental des Risques Majeurs |
| DDSC | Direction de la Défense et de la Sécurité Civile |
| DEAL | Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement |
| DGAC | Direction Générale de l'Aviation Civile |
| DGPS | Differential Global Positioning System |
| DICRIM | Document d'Information Communal sur les RIsques Majeurs |
| DNPC | Direction Nationale de la Protection Civile |
| DOM | Département d'Outre-Mer |
| DOS | Direction des Opérations et de Secours |

**E**

| | |
|---|---|
| ECHO | European Community Humanitarian Office |
| EMZPCOI | Etat-Major de Zone et de Protection Civile de l'Océan Indien |

**F**

| | |
|---|---|
| FAZSOI | Forces Armées en Zone Sud de l'Océan Indien |
| FGD | Focus Group Discussion |

**G**

| | |
|---|---|
| GASPAR | Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels |
| GC | Grande Comore |
| GPS | Global Positioning System |

**I**

| | |
|---|---|
| IAVCEI | International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth Interior |
| IFRC | Fédération Internationale des Sociétés de la Croix Rouge et du Croissant Rouge |
| INSEE | Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques |
| IPGP | Institut de Physique du Globe de Paris |
| ISDR | ou UNISDR, United Nations International Strategy for Disaster Reduction |

**J**

| | |
|---|---|
| JIR | Journal de l'Ile de la Réunion |

**L**

| | |
|---|---|
| LGSR | Laboratoire GéoSciences Réunion, anciennement LSTUR |
| LSTUR | Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de La Réunion, désormais LGSR |

**M**

| | |
|---|---|
| MESIMEX | Major Event SIMulation EXercise |
| MIAT | Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire |
| MNT | Modèle Numérique de Terrain |
| MVO | Montserrat Volcano Observatory |

**O**

| | |
|---|---|
| OCHA | Office for the Coordination of Humanitarian Affairs |
| ONF | Office National des Forêts |
| ONG | Organisation Non Gouvernementale |
| ONU | Organisation des Nations Unies |
| OPECST | Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques |
| ORA | Observatoire Réunionnais de l'Air |
| ORSEC | Organisation de la Réponse de SEcurité Civile ; anciennement Organisation des SECours |
| ORTC | Office de Radio et de Télévision des Comores |
| OVK | Observatoire Volcanologique du Karthala |
| OVPF | Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise |

**P**

| | |
|---|---|
| PAR | Pressure And Release model |
| PAM | Programme Alimentaire Mondial |
| PCC | Poste de Commandement Communal |
| PCO | Poste de Commandement Opérationnel |
| PCS | Plan Communal de Sauvegarde |
| PGHM | Peloton de Gendarmerie de Haute Montagne |
| PIB | Produit Intérieur Brut |
| PIROI | Plate-forme d'Intervention Régionale de l'Océan Indien |
| PK | Point Kilométrique |
| PLU | Plan Local d'Urbanisme |
| PMA | Poste Médical Avancé |
| PNPRU | Plan National de Préparation et de Réponse à l'Urgence |
| PNUD | Programme des Nations Unies pour le Développement (ou UNDP) |
| POS | Plan d'Occupation des Sols |
| PPI | Plan Particulier d'Intervention |
| PPR | Plan de Prévention des Risques |
| PSS | Plan de Secours Spécialisé |

**R**

| | |
|---|---|
| RETEX | RETour d'EXpérience |
| RFO | Radio France Outre-mer |
| RUN | La Réunion |
| RN | Route Nationale |

**S**

| | |
|---|---|
| SAR | Schéma d'Aménagement Régional |
| SCAC | Service de Coopération et d'Action Culturelle |
| SCOT | Schéma de COhérence Territoriale |
| SDASS | Stratégie Départementale de l'ASSainissement |
| SDIS | Service Départemental d'Incendie et de Secours |
| SIDPC | Service Interministériel de Défense et de Protection Civile |
| SIG | Système d'Information Géographique |
| SMA | Simulation Multi Agents |
| SPRN | Schéma de Prévention des Risques Naturels |
| SYNERGI | SYstème Numérique d'Echange, de Remontée et de Gestion d'Informations |

**U**

| | |
|---|---|
| UNESCO | Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture |
| UNICEF | United Nations International of Children and Education Found |

**V**

| | |
|---|---|
| VAAC | Volcanic Ash Advisory Center |
| VCAT | Volontaire Civil à l'Aide Technique |
| VEI | Volcanic Explosivity Index |

**Résumé**

La gestion des crises volcaniques constitue un sujet d'étude marginal, tous domaines de recherche confondus. La complexité des phénomènes volcaniques (aléas multiples, incertitude des prévisions), l'absence de cadre conceptuel et méthodologique établi pour l'étude des crises, les opportunités réduites de vivre des crises volcaniques, et la focalisation des chercheurs en sciences de la Terre sur l'aléa sont autant de raisons qui expliquent ce manque d'engagement. Cette thèse a pour objectif de combler partiellement ces lacunes en capitalisant des analyses sur les modes de gestion des crises.

Elle propose ainsi des RETours d'EXpérience sur la gestion de crises éruptives survenues en mai 2006 au Karthala (Grande Comore), et en avril 2007 au Piton de la Fournaise (La Réunion). S'y ajoute un RETEX sur la gestion des lahars consécutifs aux éruptions explosives de 2005 en Grande Comore. Ces cas d'étude reposent sur le vécu direct des crises analysées, puis sur un travail d'enquête auprès des autorités, scientifiques, médias et populations.

Ils mettent entre autres en évidence un manque caractérisé de moyens, d'information et de formation de l'ensemble des acteurs sur les deux îles. Les causes profondes des facteurs de dysfonctionnement sont ensuite recherchées. L'analyse révèle le poids des composantes humaines, culturelles, politiques, socioéconomiques et territoriales dans les réponses apportées face aux crises.

Enfin, cette thèse propose des outils et des approches pour améliorer la gestion des crises sur les deux îles.

**Mots clef**

gestion de crise, retour d'expérience, risque volcanique, Piton de la Fournaise, La Réunion, Karthala, Grande Comore

**Abstract**

Volcanic crisis management is a marginal study subject, whatever the research field. The complex nature of volcanic phenomena (multiple hazards, uncertainty of forecasts), the lack of conceptual and methodological frameworks to study such crises, the reduced opportunities of experiencing volcanic crises, and the fact that Earth scientists focus on the hazard are all reasons behind this lack of commitment. The objective of this thesis is to make up for some of these shortcomings by building up information on ways to manage crises.

It provides post-crisis analysis about the management of the eruptive crises of May 2006 at Karthala volcano (Grande Comore), and of April 2007 at the Piton de la Fournaise (La Reunion island). It also contains another analysis about the management of lahars subsequent to the explosive eruptions in 2005 in Grande Comore. These study cases rely first on personal experiences of analysed crises, then on investigations undertaken with local authorities, scientists, media and population.

They highlight, amongst other things, a blatant lack of resources, information and training of all agents on both islands. The causes for such dysfunctioning factors are then looked into. The analysis reveals the importance of human, cultural, political, socioeconomic and territorial components in responding to crises.

Finally, this thesis suggests tools and approaches to improve crisis management on both islands.

**Key Words**

crisis management, post-crisis analysis, volcanic risk, Piton de la Fournaise, La Reunion island, Karthala, Grande Comore island