



**HAL**  
open science

# Gestion des évacuations lors des crises volcaniques : étude de cas du volcan Merapi, Java, Indonésie

Estuning Tyas Wulan Mei

► **To cite this version:**

Estuning Tyas Wulan Mei. Gestion des évacuations lors des crises volcaniques : étude de cas du volcan Merapi, Java, Indonésie. Géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2013. Français. NNT : 2013PA010622 . tel-01001681

**HAL Id: tel-01001681**

**<https://theses.hal.science/tel-01001681>**

Submitted on 4 Jun 2014

**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.



## UNIVERSITE PARIS 1 – PANTHEON SORBONNE

ECOLE DOCTORALE DE GEOGRAPHIE

Laboratoire de Géographie Physique UMR 8591 CNRS

Doctorat de géographie

Estuning Tyas Wulan MEI

### GESTION DES EVACUATIONS LORS DES CRISES VOLCANIQUES ETUDE DE CAS DU VOLCAN MERAPI, JAVA, INDONESIE



*Thèse dirigée par Pr. Franck LAVIGNE*

Soutenue publiquement le 2 juillet 2013

Devant le jury constitué de :

M. Franck Lavigne, Professeur, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne  
M. Frédéric Léone, Professeur, Université Montpellier III Paul Valéry  
Mme. Christine Voiron Canicio, Professeur, Université Nice Sophia Antipolis  
M. Frédéric Durand, Maître de conférences, Université de Toulouse II Le Mirail  
M. Gilles Morel, Maître de conférences, Université de Technologie de Compiègne  
M. Hartono, Professeur, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonésie

Directeur de thèse  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examineur  
Examineur  
Examineur





## Sommaire

Sommaire.....	3
Résumé/Abstract/Intisari.....	5
Remerciements .....	9
Introduction générale .....	13
1ère partie : Contexte général d'étude et méthodologie de recherche .....	19
Chapitre 1. Gestion des évacuations liées aux risques volcaniques .....	21
Chapitre 2. Le Merapi : un cas représentatif du risque volcanique .....	49
Chapitre 3. Méthodologie générale.....	75
2ème partie : Contexte général d'étude et méthodologie de recherche.....	109
Chapitre 4. Se préparer aux évacuations à la veille de l'éruption de 2010.....	111
Chapitre 5. Etude des évacuations lors de l'éruption de 2010 .....	165
Chapitre 6. Modélisations des évacuations .....	226
Conclusion générale .....	256
Références bibliographiques .....	266
Table des matières .....	282
Table des figures .....	287
Table des annexes.....	296



## Résumé/Abstract/Intisari

### Résumé

Le Merapi, sur l'île indonésienne de Java, est l'un des volcans les plus actifs au monde. Ses pentes sont densément habitées jusqu'à un rayon de 4 km autour du sommet, et plus de 50 000 personnes vivent dans la zone la plus dangereuse (KRB III), exposée aux coulées et déferlantes pyroclastiques, un des aléas volcaniques les plus meurtriers. Dans ce contexte, l'évacuation temporaire des zones menacées est, en cas d'éruption, le seul moyen envisageable de réduction du risque pour les populations.

L'objectif de cette thèse est d'analyser les réponses institutionnelles et communautaires déployées face aux crises volcaniques au Merapi, en particulier lors de l'éruption majeure de 2010. L'évaluation de ces réponses et des capacités de gestion de crise repose sur des retours d'expérience d'éruptions récentes, surtout celle de 2010, dont le vécu a permis de recueillir des données de première main sous forme de questionnaires, entretiens, discussions de groupe et maquette participative en trois dimensions.

Les résultats présentés portent dans un premier temps sur l'analyse des facteurs de toutes natures (socioéconomiques, politiques, culturels, fonctionnels, etc.) susceptibles d'influencer la décision d'évacuer et le déroulement des évacuations, en nous fondant notamment sur des analyses rétrospectives sur les éruptions de 1994 et 2006. Dans un second temps, nous décortiquons la gestion de crise et en particulier le processus d'évacuation lors de l'éruption de 2010. Dans un dernier temps, cette thèse propose des modélisations d'évacuation à deux échelles : celle du massif volcanique et celle d'une localité, ceci dans une démarche prospective. Ces analyses permettent au final de mettre en évidence les lacunes dans la gestion des évacuations lors des crises volcaniques en Indonésie, et de proposer des améliorations pour une meilleure préparation aux niveaux institutionnel et communautaire.

Mots clés : évacuation, gestion de crise, crise volcanique, Merapi, Indonésie.

### Abstract

Merapi volcano, located in the Java Island, Indonesia, is one of the world's most active volcanoes. Its slopes are densely populated until a 4 km radius around the summit. More than 50,000 people living in the most dangerous area (KRB III) are exposed to pyroclastic density currents (PDCs), one of the deadliest volcanic hazards. In this context, temporary evacuation of the threatened zone, during eruption, is the only possible way to reduce the risk of population.

The objective of this thesis is to analyze the institutional and community responses in coping with volcanic crises, especially during the 2010 major eruption of Merapi. An evaluation of these responses and capacities of crisis management was done based on the lessons learned from recent eruptions, especially the 2010. First-hand data were obtained using questionnaires, interviews, focus group discussions and participatory three-dimensional map.

In the first place, the results of this thesis were built upon the analysis of the factors influencing evacuation decision and the evacuation process, notably based on the 1994 and 2006 eruptions. Secondly, we studied the crisis management and, in particular, the evacuation process during the 2010 eruption. Finally, we conducted evacuation modeling, in a term of forward-looking approach, at two scales: on the entire volcano and local level. This analysis highlights the gaps in evacuation management during volcanic crisis in Indonesia and suggests improvements for better preparation for institutional and community levels.

Key words: evacuation, crisis management, volcanic crisis, Merapi, Indonesia.

## **Intisari**

Gunungapi Merapi yang terletak di Pulau Jawa merupakan salah satu gunungapi teraktif di dunia. Wilayah gunungapi Merapi merupakan wilayah sangat padat penduduk hingga radius 4 km dari puncak. Terdapat lebih dari 50 000 orang yang tinggal di kawasan rawan bencana (KRB) III, wilayah paling rentan terhadap bahaya awan panas, salah satu jenis bahaya paling mematikan dari gunungapi. Dalam wacana ini, evakuasi sementara penduduk merupakan satu-satunya cara yang mungkin dilakukan untuk mengurangi risiko bencana gunungapi terhadap penduduk.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis respon terhadap bencana Merapi baik dari sisi kelembagaan maupun dari sisi masyarakat, terutama pada saat erupsi Merapi tahun 2010. Evaluasi respon dan kapasitas dalam pengelolaan krisis Merapi dilakukan berdasarkan pengalaman erupsi – erupsi terkini, khususnya erupsi 2010, dengan menggunakan kuestioner, wawancara, diskusi grup dan maket tiga dimensi.

Pada tahap pertama, penelitian ini membahas faktor-faktor (sosioekonomi, politik, budaya, fungsional) yang mampu mempengaruhi keputusan evakuasi terutama berdasarkan pengalaman krisis Merapi tahun 1994 dan 2006. Selanjutnya, penelitian dilakukan untuk menganalisis pengelolaan krisis dan proses evakuasi selama erupsi Merapi tahun 2010. Terakhir, pemodelan evakuasi, dalam pendekatan prospektif, dilakukan dalam dua skala wilayah yang berbeda : skala gunungapi dan skala desa. Disertasi ini menyoroti kesenjangan dan permasalahan yang ada dalam pengelolaan evakuasi selama krisis gunungapi di Indonesia dan memformulasikan perbaikan untuk persiapan menghadapi krisis di tingkat institusi dan masyarakat.

Kata kunci : evakuasi, pengelolaan krisis, krisis gunungapi, Merapi, Indonesia.



*A toi...*

*A toi qui me connais depuis toujours et qui veilles sur moi comme tu veillais sur mes ancêtres depuis  
des siècles,*

*A toi qui m'as vue grandir comme tu as vu grandir mon peuple au fil des siècles,*

*A toi dont les Amours avec la Reine des Mers du Sud signifient pour nous danger et fertilité,*

*A toi qui relies Notre Terre Mère au Ciel,*

*A toi qui, sans cesse, nous rappelles à l'Universel,*

*A toi, qui es pour nous, pour moi, une leçon d'humilité.*

*A toi donc,*

*Matur nuwun Eyang Merapi.*



## Remerciements

Avant de présenter les travaux de recherche auxquels je me suis consacrée durant une période de trois ans et demi en France et en Indonésie, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers toutes les personnes qui aux divers stades de l'étude m'ont accordée leur confiance, leur aide et leur temps. Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Géographie Physique - CNRS UMR 8591 Bellevue dans le cadre du programme de l'Union Européenne MIAVITA (2008-2012), intitulé *Mitigate and Assess risk from Volcanic Impact on Terrain and human Activities*. Plusieurs partenaires financiers en France et en Indonésie ont permis sa finalisation : la Direction Générale des Études Supérieures du Ministère de l'Éducation Nationale en Indonésie, le Service de Coopération et d'Action Culturelle de l'Ambassade de France en Indonésie, l'Université Gadjah Mada à Yogyakarta dont le Centre de Recherche sur les Risques, l'Association Franco-Indonésienne pour le Développement des Sciences (AFIDES) à travers son prix « Mahar Schutzenberger 2012 » à Paris.

Je tiens à remercier en tout premier lieu M. le Professeur Franck Lavigne, le directeur de thèse, pour m'avoir encadrée, dirigée et soutenue tout au long de cette thèse, non seulement pour son soutien académique, mais également son soutien moral, financier, et matériel. Je remercie infiniment Franck Lavigne et son épouse, Emma Lavigne, ainsi que leurs enfants, Axel et Livia, pour m'avoir accueillie généreusement chez eux et m'avoir traitée comme un membre de leur famille.

Mes pensées vont ensuite au Professeur Junun Sartohadi, le directeur du Centre de Recherche sur les Risques de l'Université Gadjah Mada 2008-2012, son épouse, Ibu Frans, et sa famille, pour leur aide et pour m'avoir donnée la chance de réaliser un de mes rêves en poursuivant mes études en France. Ses conseils et son soutien m'ont été fort précieux au cours de ces années d'étude.

Mes remerciements vont aussi à Delphine Grancher qui m'a beaucoup aidée pour mes travaux, ses relectures pour le manuscrit et les articles, ses idées brillantes et le travail en commun sur la maquette et les FGDs au Merapi. Je remercie sincèrement Daniel Brunstein qui m'a beaucoup aidée pour le SIG, ses relectures pour l'article de JVGR, ses conseils et ses idées innovantes durant ces années d'étude.

Je voudrais également remercier M. le Professeur Frédéric Léone qui m'a donnée des conseils et du soutien, notamment sur le sujet des évacuations de populations lors des catastrophes naturelles. Mes remerciements vont également à son épouse, Mme. Monique Gherardi. Merci à eux deux.

Un grand merci aux membres du jury : M. le Professeur Frédéric Léone, Mme. le Professeur Christine Voiron-Canicio, M. Frédéric Durand, M. Gilles Morel et M. le Professeur Hartono pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Julie Morin qui s'est gentiment proposée pour corriger mon manuscrit. Pour son soutien, ses commentaires, ses conseils, ses idées brillantes et le temps qu'elle m'a consacré durant ces derniers mois de rédaction, MERCI beaucoup Juliotte ! Je lui dois infiniment !

Mes remerciements vont à Edouard de Bélizal pour son temps consacré à corriger le français et ses apports constructifs pour le manuscrit et l'article de JVGR. Je remercie également Adrien Picquout pour le temps partagé lors des travaux du terrain (les longues journées d'allers-retours dans les villages au Merapi) et son aide pour la correction du manuscrit.

Je remercie Danang Sri Hadmoko et sa femme, Annisa Rahmawati, pour leur aide et leur soutien pendant mes études. Je remercie également Mathieu Peroche, Marina Utasse, Emilie Lagahé, Alexandre Sahal qui ont été prêts à discuter de la modélisation des évacuations et à consacrer du temps pour m'aider pendant mes travaux de recherche. Merci également à Céline Vidal pour avoir travaillé avec notre équipe sur la base de données de PODUS et SURDADU.

Je tiens également à exprimer mes remerciements à la directrice, Mme Catherine Kuzucuoglu, à tous les membres, les doctorants et les étudiants de master du LGP pour l'amitié, la sympathie et la convivialité durant ces années « laborieuses ».

Je remercie le Président de l'Université Gadjah Mada à Yogyakarta, le doyen de la Faculté de Géographie, et le directeur du département de *Pembangunan Wilayah* qui m'ont permis de m'absenter de leur équipe pour la durée de mes études. Ma gratitude va également à Ibu Dwi Hardanto KUI UGM et aux membres de KUI UGM qui se sont occupés de ma bourse d'étude.

Je remercie tous les collègues de la Faculté de Géographie UGM pour leur soutien et leur compréhension durant mon absence. Je tiens à remercier Alia Fajarwati, Utia Suarma, Emma Hizbaron, Anggri Setiawan, Nugroho Christanto et Iswari Hidayati pour leur aide et leurs encouragements durant ces années d'étude. Je remercie également les équipes d'étudiants de la Faculté de Géographie UGM, Dandun, Sara, Evi, Sendy, Misqi et d'autres étudiants qui m'ont aidée pendant les travaux de terrain et la récolte des données.

Que soient vivement remerciés tous les maires, les chefs de villages et les habitants au Merapi, notamment à Ngargomulyo, Turgo et Bronggang-Suruh, ainsi que toutes les personnes qui se sont

prêtées aux entretiens au sein du gouvernement local des *kabupaten* de Sleman, Magelang, Boyolali et Klaten.

Je remercie sincèrement Khawla Tlili pour la relecture et la correction du français. Je remercie également Madame Rodica Ravier, Directeur de Recherche Honoraire au CNRS et vice-présidente de l'Association Chercheurs Toujours, et son époux, qui ont consacré leur temps pour corriger mon manuscrit.

Mes remerciements les plus profonds vont à Anne Miché, Christiane Kohler et Guillaume Kohler pour l'amitié et la parenté (merci de m'avoir accueillie dans vos cœurs), leur soutien, leur écoute, et leur attention permanents. Je tiens à remercier encore une fois Anne Miché qui a gentiment accepté de consacrer son temps à m'aider pour l'orthographe et la grammaire de ce manuscrit.

Merci à toutes et à tous ceux qui ont contribué à l'avancée de ce travail, et à ceux que j'aurais pu oublier, je présente toutes mes excuses.

Mes remerciements et mes pensées les plus profondes s'adressent à mes parents, Sudarto et Susilowati, et mes frères, Anindyo Susjanarko et Yudithstiro Narendrasgoro, qui m'ont toujours encouragée et accompagnée dans le bonheur et les difficultés.

Enfin, je tiens à remercier tout particulièrement Eyang Merapi. Sans toi, je n'aurais pas pu réaliser cette thèse !

*Maturnuwun...*

*Terimakasih...*

*Merci...*





## Introduction générale

Cette recherche s'inscrit dans le projet européen MIAVITA (*Mitigate and Assess Risk from Volcano Impact on Terrain and Human Activities*, 2008-2012), auquel participe le Laboratoire de Géographie Physique de Meudon - UMR 8591 CNRS. Ce programme avait pour but de développer des outils et des méthodologies intégrées pour atténuer les risques volcaniques (de la prévention à la résilience, en passant par la gestion des crises). Ce projet pluridisciplinaire regroupant des spécialistes de divers domaines (sciences de la Terre, sciences sociales, agriculture, technologie de l'information, etc.), portait sur les volcans Kanlaon aux Philippines, Fogo au Cap Vert, Mont Cameroun, ainsi que sur le Merapi, volcan indonésien objet de notre étude.

Quatre cent cinquante millions d'habitants vivent autour des 1500 volcans actifs de la planète (Chester, et al., 2001). Les populations se sont installées dans les zones volcaniques pour de nombreuses raisons, notamment pour la fertilité du sol, et ont appris à travers des rituels religieux à coexister avec leurs montagnes de feu (Baxter, 1999). Les études archéologiques ont montré que des éruptions majeures ont pu détruire des civilisations comme à Santorin en 1600 avant J.C (Bruins, et al., 2008) et au volcan Popocatépetl de 800 à 822 avant J.C (Plunket, et al., 2008). Une étude menée sur les éruptions volcaniques dans le monde depuis 1783 AD a révélé plus de 220 000 décès liés aux éruptions volcaniques. La plupart des décès sont liés à la famine et aux épidémies (30%), aux coulées et déferlantes pyroclastiques (27%) et aux tsunamis d'origine volcanique (17%) (Baxter, 1999).

Parmi les aléas volcaniques, les coulées et déferlantes pyroclastiques (désormais regroupées sous le terme anglais PDC pour *Pyroclastic Density Currents*) ont des puissances destructrices et mortelles. Baxter, et al. (1998) ont montré qu'il y a peu de survivants lors de l'occurrence de PDCs (Tableau 1) parce que respirer dans des conditions sans oxygène conduit à une perte de conscience et cause de graves brûlures aux voies respiratoires. En effet, le corps humain ne peut pas survivre dans des PDCs qui atteignent une température de plus de 200°C (Baxter, 1990; Baxter, et al., 1998; Baxter, 1999). Dans certains cas ils peuvent cependant survivre à des déferlantes pyroclastiques qui durent moins d'une minute, mais avec des blessures graves. Dans une région où cet aléa est fort, deux solutions pour réduire le nombre de victimes sont envisageables : la première est de maîtriser l'aménagement du territoire en interdisant l'implantation dans les zones exposées, la deuxième est d'évacuer la population lors des éruptions volcaniques (Baxter, et al., 1998).

Tableau 1. Victimes des coulées pyroclastiques lors des éruptions volcaniques du XXème siècle  
(Baxter, 1999; Baxter, et al., 1998)

Eruption (année)	Victimes	Ratio morts /blessés	Survivants après le traitement
Pelée (1902)	28 000	230 :1	163 traités, 123 survivants
La Soufrière (1902)	1 565	11 :1	194 traités, 120 survivants
Taal (1911)	1 335	10 :1	non connu
Lamington (1958)	2 942	44 :1	70 traités, 67 survivants
Saint-Helens (1980)	58	16 :1	130 transportés par voie aérienne, 9 requérant un traitement dont 7 ont survécu
Unzen (1991)	43	5 :1	17 traités, 4 survivants avec des brûlures mineures
Merapi (1994)	63	3 :1	86 traités, 11 morts à l'arrivée à l'hôpital
SoufriereHills Montserrat (1997)	19	4 :1	7 traités, tous survivants

Une des mesures courantes pour se protéger contre les aléas naturels est l'évacuation des populations. Les hommes utilisent l'évacuation pour fuir les guerres, les risques sociopolitiques, les maladies, les épidémies ou la famine (Marchand, 1985). C'est une solution radicale pour protéger les vies humaines, qui peut ne pas toujours s'exécuter dans des conditions favorables et provoquer des conséquences négatives quand elle n'est pas bien préparée. Cependant, elle reste le plus souvent efficace pour réduire le nombre de victimes (Dauphiné, 2001). Dans le cas d'une éruption volcanique avec risque de PDCs, seule une évacuation réalisée à temps est efficace pour minimiser le nombre de victimes (Wilson, et al., 2012; Baxter, 1999; Baxter, et al., 1998). Certaines évacuations réalisées lors d'éruptions volcaniques ont été documentées (Tableau 2). Avant l'éruption du Merapi de 2010, plus de 5 millions de personnes avaient été évacuées ou affectées par 248 événements volcaniques recensés depuis le début du XXème siècle (Wilson, et al., 2012; Witham, 2005).

Tableau 2. Exemples d'évacuations de population et de bétail face à des éruptions volcaniques dans le monde (modifié d'après Wilson, et al., 2012).

Volcan	Année	Région, Pays	Détails	Référence
Tarawera	1896	Bay of Plenty, Nouvelle-Zealand	Estimation de 20 000 animaux évacués.	Keam (1988)
Eldfell	1973	Heimaey, Islande	Evacuation totale de l'île (5300 personnes). Plusieurs centaines de moutons évacués.	Williams et al.(1983) Wilson (2009)
Soufrière	1976-1977	Guadeloupe, France	Environ 73500 personnes évacuées temporairement.	Mc Guire et al. (2009)
Saint-Helens	1980	Washington, États-Unis	35 propriétaires de terrain à Spirit Lake évacués.	The Daily News/Journal of America (1980)
Nevado del Ruiz	1986	Tomila, Colombie	15000 personnes évacuées après la destruction d'Armero par des lahars.	Voight (1990)
Unzen	1990-1995	Shimabara, Japon	Plus de 160 000 habitants dans des camps de déplacés lors de la période éruptive maximale, puis 5669 personnes en refuges temporaires pour une période de quatre ans et demi afin de se protéger contre les risques de coulées pyroclastiques.	Shimizu et al. (2007)
Pinatubo	1991	Luzon, Philippines	Plus de 200000 personnes évacuées afin de se protéger contre les coulées et déferlantes pyroclastiques, les retombées et les lahars.	Newhall et al. (1997)
Merapi	1994	Yogyakarta, Indonésie	Villageois évacués après l'éruption du 22 novembre 1994, 69 personnes tuées, 4 452 personnes évacuées.	Dove (2008) Mei et Lavigne (2012) Thouret (2000)
SoufriereHills	1995	Montserrat	Environ les deux tiers de la population de l'île évacués (12 000 personnes).	Clay et al. (1999) Mc Guire et al. (2009) (Clay, et al., 1999; Mc Guire, et al., 2009)
Tungurahua	1999	Tungurahua, Équateur	Evacuation forcée de la population totale de Baños (16 000 personnes) en raison des risques de coulées pyroclastiques et de lahars.	Tobin et al. (2002) Lane et al. (2003)
Nyiragongo	2002	Goma, République démocratique du Congo	300 000 personnes évacuées, 120 000 laissées sans abri suite aux coulées de lave dans Goma.	UNDP (2004)
Merapi	2006	Yogyakarta, Indonésie	Plus de 20 000 personnes évacuées en raison des risques de coulées/ déferlantes pyroclastiques et de lahars. Bétail laissé dans les villages d'origine à l'origine d'allers-retours lors de la période d'évacuation.	Wilson et al. (2007)
Chaiten	2008	Patagonie du nord, Chile	Evacuation préventive de 5000 personnes, notamment de la ville de Chaiten. Plus de 20 000 animaux évacués.	Lara (2003)

L'évacuation lors des éruptions volcaniques est souvent analysée comme un élément parmi d'autres dans les études portant sur la perception du risque volcanique (Tobin, et al., 2011; Tobin, et al., 2007; Bird, et al., 2009; Carlino, et al., 2008; Lavigne, et al., 2008; Gavilanes-Ruiz, et al., 2009), la gestion des crises volcaniques (De Bélizal, et al., 2011; De Bélizal, 2012; Mei, et al., 2012; Morin, 2012), la vulnérabilité (Alberico, et al., 2012), et les processus de prise de décision (Woo, 2008; Sagala, 2009; Sofian, 2012). Le thème des évacuations lors des crises volcaniques est encore peu traité en tant que sujet distinct, notamment par les géographes. Grâce à leur approche spatiale, et à la prise en compte des temporalités multiples et discontinues qui animent l'espace géographique (Elissalde, 2000), les géographes sont pourtant les plus à même de fournir les clefs de compréhension du bon ou du mauvais déroulement d'une évacuation. Leur réflexion peut en outre permettre d'aider à planifier les évacuations et à mettre en place des outils opérationnels.

Nous proposons, à travers ce travail de thèse, la première étude intégralement dédiée à la compréhension des évacuations en domaine volcanique. Nous nous appuyons pour cela sur le cas d'étude de l'éruption de 2010 au Merapi, qui a coûté la vie à plus de 300 personnes et officiellement entraîné l'évacuation d'environ 400 000 personnes. Cette éruption s'étant produite au beau milieu de notre thèse (dont le sujet initial portait sur la même thématique, mais appliquée aux éruptions précédentes), nous avons eu l'opportunité de vivre cette crise sur le terrain.

L'évacuation désigne dans notre étude le déplacement temporaire de populations des zones exposées aux aléas volcaniques vers des zones sûres, uniquement au cours de l'éruption. Les processus de relocalisation hors des zones exposées après l'éruption ne sont pas envisagés (ils font l'objet d'une thèse en préparation à l'Université de Montpellier), pas plus que les évacuations liées aux lahars pendant l'éruption (abordées dans la thèse de De Bélizal (2012), et analysées en profondeur dans le cadre du programme SEDIMER depuis 2012 - <http://www.lgp.cnrs-belleuve.fr/sedimer/index.html>).

Notre thèse se structure de la manière suivante :

**L'introduction générale** présente le contexte général de l'étude, les objectifs de recherche et le plan de thèse.

La **première partie** de cette thèse, intitulée « **Contexte général d'étude et méthodologie de recherche** », s'attache à éclaircir de manière théorique les principaux éléments de notre problématique :

- **Le premier chapitre** décrit, de façon générale, la gestion des évacuations liée aux risques volcaniques. Il expose les cadres conceptuel et terminologique liés aux risques volcaniques, de la



gestion des risques et des crises, et des évacuations en tant que moyen de réduire les conséquences des catastrophes volcaniques.

- **Le deuxième chapitre** présente la zone d'étude, le volcan Merapi comme un cas représentatif du risque volcanique, les facteurs anthropiques des risques volcaniques, les enjeux de la gestion des évacuations, la politique de prévention des risques et la gestion des crises au Merapi.
- **Le troisième chapitre** décrit la méthodologie utilisée au cours de la thèse : collecte de données (pré-, syn-, et post- éruption de 2010) et méthodes d'analyse, le tout à deux échelles : celle du volcan et celle des communautés.

La **deuxième partie** de la thèse porte sur les **résultats** et leur **discussion** :

- **Le quatrième chapitre** analyse la préparation aux évacuations dans le cadre de la réduction du risque dans les villages autour du Merapi à la veille de l'éruption de 2010. L'anticipation des crises dans les zones à risque volcanique élevé et les contraintes rencontrées dans la préparation aux évacuations font l'objet d'une réflexion.
- **Le cinquième chapitre** décrit l'étude des évacuations lors de l'éruption de 2010 : chronologie des événements éruptifs, rôle des acteurs dans la gestion des évacuations, gestion des personnes déplacées, réponses aux évacuations, et retour des populations dans les villages.
- **Le sixième chapitre** expose la modélisation des évacuations de population réalisée par le biais du logiciel *RouteFinder*.

La thèse constitue un retour d'expérience qui permet de formuler quelques recommandations qui, nous l'espérons, contribueront à améliorer la gestion des évacuations des populations lors des crises d'origine volcanique au volcan Merapi, et plus généralement sur d'autres volcans en Indonésie.



# **1ère partie : Contexte général d'étude et méthodologie de recherche**

Chapitre 1. Gestion des évacuations liée aux risques volcaniques

Chapitre 2. Le Merapi : un cas représentatif du risque volcanique

Chapitre 3. Méthodologie générale



# C

## hapitre 1. Gestion des évacuations liées aux risques volcaniques

---

Depuis 1960, plus de quarante éruptions volcaniques se produisent en moyenne chaque année sur Terre (<http://www.volcano.si.edu>). Elles montrent la force de la nature et constituent un risque naturel majeur pour la société (Blong, 1984; Blong, 2000; Sigurdsson, 2000; Blong, 2003; Witham, 2005). Dans beaucoup de pays, notamment ceux en voie de développement, la croissance de la population autour des volcans contribue à augmenter les risques. Ces derniers peuvent être minimisés en améliorant les capacités des autorités et des populations à travers la préparation et la planification. Depuis quelques années, une attention particulière est portée sur ces activités de réduction des risques au sein desquelles la gestion des évacuations joue un rôle primordial. Ce chapitre est dans un premier temps consacré à la définition du cadre conceptuel et de la terminologie liée aux risques volcaniques. Le système de gestion de crise est ensuite décrit, en insistant sur l'importance des évacuations face aux crises volcaniques, et la nécessité de leur étude.

### 1. Cadre conceptuel et terminologie liés aux risques volcaniques

De manière générale, le risque fait référence aux dangers associés à des processus aux résultats incertains (Reid, 1992; Chaline, et al., 1994), mais la définition du risque varie selon les sources (Kelman, 2003), chaque discipline ayant sa propre approche méthodologique (Texier, 2009). La Coopération des Secours en cas de Catastrophe des Nations Unies (UNDRO, 1992) définit le risque naturel comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel potentiellement dommageable, dans une période et dans un secteur spécifique. Le risque est souvent défini par la formule  $R = A \times (E \times V)^1$ , l'aléa représentant le danger, les enjeux indiquant les éléments exposés, et la vulnérabilité montrant le degré de dommages potentiels subis par les enjeux (Dauphiné, 2001; Van Westen, et al., 2006).

Les phénomènes d'origine naturelle ont à la fois une incertitude épistémique et une incertitude aléatoire. La première est caractérisée par des lacunes dans les connaissances sur les processus

---

<sup>1</sup> R est le Risque, A l'aléa, E les enjeux, V la vulnérabilité.

naturels; la seconde est due à la variabilité naturelle au sein de ces processus (Woo, 1999). Ces incertitudes sont particulièrement marquées dans le cas des éruptions volcaniques. Ce sont des phénomènes complexes qui impliquent l'ascension du magma à la surface de la Terre et ses interactions avec l'environnement pendant l'éruption. Elles peuvent être de faible intensité, libérant de la vapeur et du gaz ou des coulées de lave, mais peuvent aussi prendre la forme d'explosions violentes éjectant des cendres et des gaz dans l'atmosphère.

Les éruptions peuvent détruire des terres et menacer les populations vivant sur les flancs des volcans, affecter la qualité de l'air et même influencer le climat global pour un temps court (Cole-Dai, 2010). Elles sont parmi les plus impressionnants et les plus redoutés des phénomènes naturels. La Terre possède au moins 1500 volcans actifs dont une centaine considérés comme très dangereux et donc particulièrement surveillés (Zlotnicki, et al., 2012). Depuis le début du XVIIIe siècle, les éruptions volcaniques ont tué plus de 300 000 personnes et causé des dégâts matériels et pertes économiques estimés à plusieurs centaines de millions de dollars (Kirianov, 2005). Au seul XXème siècle, elles ont causé la mort de plus de 60 000 personnes (Davidson, et al., 2000) Aujourd'hui, 500 millions d'individus sont directement concernés par les risques volcaniques (Newhall, 2000).

### **1.1. Les risques volcaniques : différents aléas se combinant lors des éruptions**

Les aléas volcaniques sont les processus potentiellement dommageables liés au volcan, pendant ou après les éruptions (Figure 1): émissions de gaz, coulées de lave, projections et retombées de bombes, cendres, ponces, écoulements pyroclastiques, avalanches de débris, lahars, ou tsunamis.

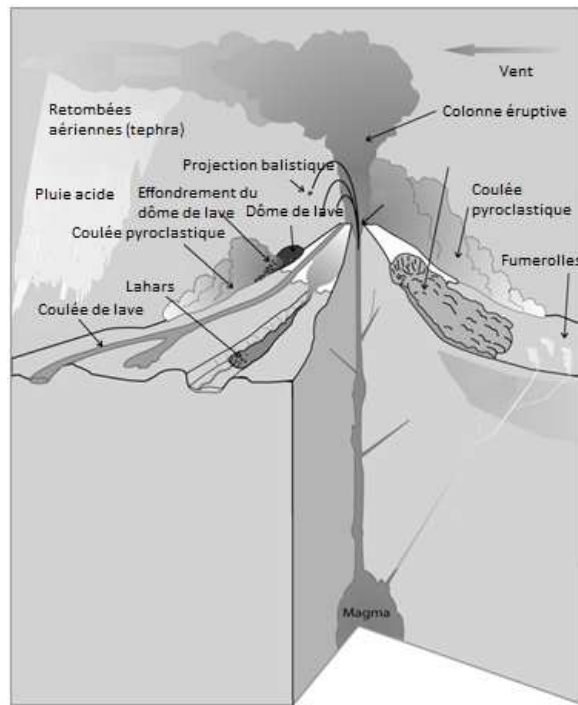


Figure 1. Aléas volcaniques (US Geological Survey, 2009)

Ces aléas ont des impacts importants, cependant, ils ont des fréquences bien plus faibles que les autres aléas tels que les inondations et les tempêtes (MunichRe, 2010). C'est la raison pour laquelle les dégâts matériels et humains sont moins importants que ceux engendrés par d'autres aléas (MunichRe, 2010)(Figure 2 et Figure 3).

Néanmoins, une éruption volcanique constitue un risque majeur puisque lors d'une éruption plusieurs aléas peuvent se combiner et avoir des conséquences matérielles et humaines. Les éruptions volcaniques sont très variées en amplitude, en durée et en fréquence, non seulement d'un volcan à l'autre, mais aussi au niveau d'un même volcan. Le type d'activité d'un volcan peut changer au fil du temps comme ce fut le cas pour le volcan Kelud en Indonésie, l'éruption de 2007 ayant été extrusive au lieu d'être explosive comme à l'accoutumée (De Bélizal, et al., 2011).

Nombres des catastrophes naturelles de 1980 à 2010

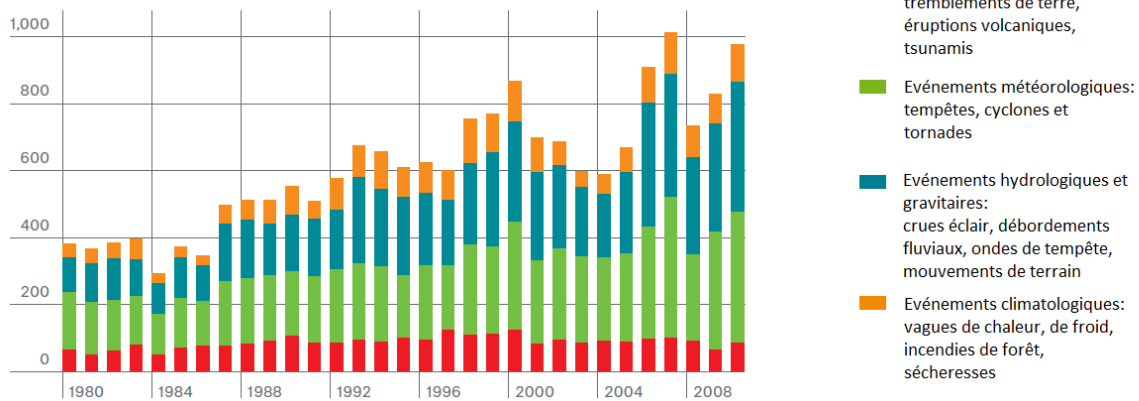


Figure 2. Nombre de catastrophes naturelles de 1980 à 2010, modifié d'après MunichRe(2010)

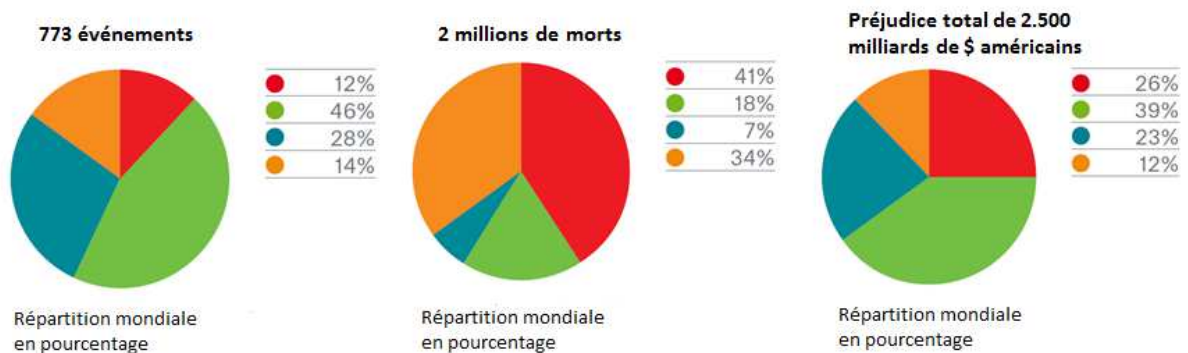


Figure 3. Nombre de catastrophes naturelles et importance de leurs impacts en 2010 (MunichRe, 2010)

## 1.2. Enjeux et vulnérabilité

Les enjeux sont les éléments vulnérables exposés. Les enjeux peuvent être différenciés par leur nature ou leur fonction, par exemple : les enjeux humains, économiques (bâtiments, biens matériels, moyens de production), sociaux (bâtiments publics, voirie), culturels (monuments, savoir, savoir-faire), politiques (territoire) ou bien environnementaux (biodiversité, paysage). Les principales menaces volcaniques pour l'homme sont liées aux pertes humaines. Les éruptions peuvent par ailleurs engendrer des dégâts matériels et environnementaux majeurs, affecter l'économie, provoquer des crises sanitaires, etc.

Le terme de «vulnérabilité» a une multitude de définitions et d'interprétations selon les auteurs. La vulnérabilité est définie comme le degré de perte pour un «enjeu» ou des «enjeux» donné(s) pour un aléa donné et un moment donné (UNDP, 1997). Le concept de vulnérabilité est



complexe à définir en raison de son contenu pluridisciplinaire (Pigeon, 2002) et de la pluralité de ses interprétations (Van Westen, et al., 2006; Birkmann, 2005). La vulnérabilité est souvent exprimée en pourcentage de perte (ou comme une valeur entre 0 et 1) pour un niveau donné de danger. La vulnérabilité n'est pas statique mais dynamique, liée à la fois aux processus socio-économiques passés ou présents, et à la prise de décision de chaque individu ou d'un groupe d'individus (Cannon, 1994; Wisner, et al., 2004; Benson, et al., 2007).

Cutter et al. (2003) ont combiné plusieurs facteurs qui déterminent la vulnérabilité, liés aux conditions géographiques et sociales locales. Les aspects physiques et sociaux se soutiennent mutuellement pour produire la vulnérabilité (Figure 4). Cette dernière varie dans le temps et l'espace, car elle est toujours modifiée par les activités humaines. Par conséquent, la vulnérabilité ne peut pas être mesurée en termes absolus, mais doit être évaluée spatialement et temporellement. Certaines personnes sont plus vulnérables à certains aléas que d'autres. Cela dépend de leur exposition aux dangers, de leur niveau de résilience (Reghezza, 2006) et de leur capacité à faire face aux risques. Elles peuvent également être plus ou moins vulnérables à différents moments de l'année. Les classements des différentes vulnérabilités par les chercheurs donnent une bonne idée de la complexité de cette notion (Tableau 3).

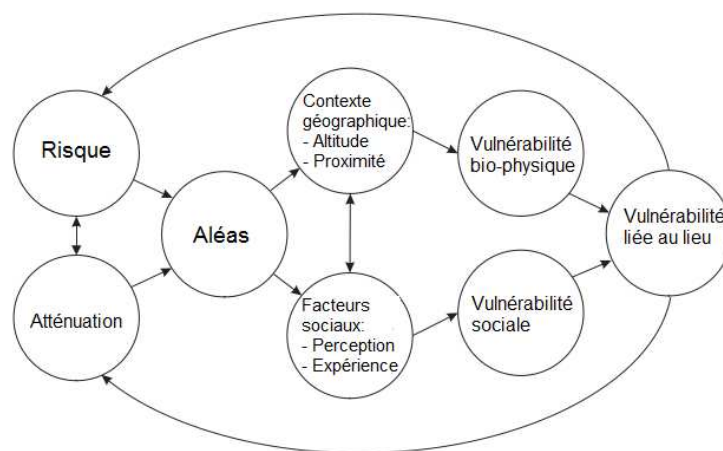


Figure 4. Modèle de vulnérabilité territoriale (Cutter, et al., 2003)

Tableau 3. Classements de différentes vulnérabilités

Classement de vulnérabilité et capacité dans trois catégories interdépendantes (Anderson, et al., 1989)	Catégories de vulnérabilité (Maskrey, 1998)
<p>1) Vulnérabilité physique et structurelle : zones à risque, insécurité des moyens de subsistance, manque d'accès et de contrôle des moyens de production, dépendance aux prêteurs d'argent, manque de compétence adéquate et fiable pour la formation scolaire, manque de services de base, surexploitation des ressources naturelles</p> <p>2) Vulnérabilité sociale et organisationnelle : structure de la famille, manque d'initiative, discriminations sociale, ethnique ou raciale, absence d'organisation communautaire, négligence du gouvernement, isolement du monde extérieur</p> <p>3) Motivation/Attitude :</p> <p>Attitude négative face au changement, passivité, désespoir, dépendance, manque d'initiative, de coopération, de solidarité, méconnaissance des dangers et de leurs conséquences, dépendance de l'aide extérieure</p>	<p>1) Vulnérabilité physique : densité de population, habitat isolé, zone à risque volcanique, etc.</p> <p>2) Vulnérabilité technique : structures et infrastructures (routes, ponts, canaux d'irrigation)</p> <p>3) Vulnérabilité économique : insuffisance de capital et de réserves, manque de diversification économique</p> <p>4) Vulnérabilité environnementale : manque de biodiversité, incapacité de l'écosystème à résister et se rétablir</p> <p>5) Vulnérabilité sociale : taille de la famille, existence d'organisations communautaires, solidarité, âge, sexe, discrimination raciale, ethnique ou religieuse</p> <p>6) Vulnérabilité politique : niveau de participation à la prise de décision, existence de l'autoritarisme, corruption, conflit</p> <p>7) Vulnérabilité culturelle : système de croyance, perception du danger et des catastrophes</p> <p>8) Vulnérabilité éducationnelle : manque d'informations ou désinformation au sujet des scénarios de risque</p> <p>9) Vulnérabilité institutionnelle : manque de services publics, de plans d'urgence</p>

### 1.3. Conséquences des éruptions volcaniques

Vivre dans une zone volcanique présente des avantages aussi bien que des inconvénients (Kelman, et al., 2008)). Le fait que certaines régions volcaniques parmi les plus actives au monde se situent dans des régions densément peuplées et en croissance démographique continue implique que l'impact de l'activité volcanique est susceptible d'augmenter (Figure 5). Au moins 9,6% de la population mondiale vit dans des zones exposées et la plupart sont situées dans les pays en voie de développement (Tilling, 2008). Dans le cas de l'Asie du Sud-est, les îles volcaniques (par exemple

Java, Sumatra, Luzon) sont beaucoup plus peuplées - et leurs populations par conséquent exposées en plus grand nombre - que les îles non-volcaniques comme Bornéo ou la Papouasie.

Les éruptions volcaniques peuvent avoir des conséquences à différentes échelles spatiales (locale, régionale, globale) ou temporelles (quelques jours, semaines, mois, années). Lors d'une éruption, plusieurs zones peuvent être affectées par la combinaison de différents aléas. Les causes majeures de mortalité lors des éruptions volcaniques sont les coulées et déferlantes pyroclastiques (regroupés sous le terme PDC pour *Pyroclastic Density Current*), les retombées de cendres, les lahars syn-éruptifs, et les tsunamis. Cependant, les phénomènes secondaires tels que les lahars post-éruptifs, la famine et les épidémies ont souvent provoqué une mortalité bien plus forte que celle liée aux aléas primaires (Tableau 4)(Blong, 1984). Par exemple, l'éruption du Tambora en 1815 (Indice d'Explosivité Volcanique ou VEI de 6) sur l'île de Sumbawa en Indonésie a provoqué un nuage massif d'aérosols dans la stratosphère (Self et al., 2004). Cette éruption a tué plus de 70000 personnes par la famine à Sumbawa et Lombok. Par ailleurs, en raison du mauvais temps causé par les cendres dans l'atmosphère, une épidémie de typhus a éclaté en Irlande puis s'est diffusée en Angleterre et en Écosse, faisant 65000 victimes (Robock, 2002). Il en va de même avec l'éruption du volcan Samalas/Rinjani (Lombok, Indonésie) en 1257, qui aurait fait plus de 10 000 victimes à Londres l'année suivante (Lavigne, et al., soumis).

Tableau 4. Eruptions volcaniques les plus meurtrières au monde

No	Volcan	Date	Victimes	Cause majeure de mortalité
1	Vésuve, Italie	79 AD	3360	Cendre volcanique
2	Samalas, Lombok, Indonésie	1257	Dizaines de milliers	Coulées pyroclastiques, cendre, famines, épidémies
3	Vésuve, Italie	1631	3500	Lahars, lave
4	Komagatake, Japon	1640	700	Tsunami
5	Oshima, Japon	1741	1475	Tsunami
6	Papandayan, Java, Indonésie	1772	2957	Cendre volcanique
7	Laki, Islande	1783	9350	Famine
8	Asama, Japon	1783	1377	Cendre et lahars
9	Unzen, Japon	1792	14 300	Effondrement de volcan, tsunami
10	Mayon, Philippines	1814	1200	Lahars
11	Tambora, Indonésie	1815	92 000	Famine
12	Ruiz, Colombie	1845	700	Lahars
13	Cotopaxi, Equateur	1877	1000	Lahars
14	Galunggung, Java, Indonésie	1882	4011	Lahars
15	Krakatau, Indonésie	1883	36 417	Tsunami
16	Mt Pelée, Martinique	1902	29 025	Cendre volcanique
17	Soufrière, St Vincent	1902	1680	Cendre volcanique
18	Taal, Philippines	1911	1335	Cendre volcanique
19	Kelud, Java, Indonésie	1919	5110	Lahars
20	Lamington, Papouasie-Nouvelle-Guinée	1951	2942	Cendre volcanique
21	Hibok-Hibok, Philippines	1951	500	Cendre volcanique
22	Agung, Indonésie	1963	1184	Cendre volcanique
23	El Chichon, Mexique	1982	2000	Cendre volcanique
24	Ruiz, Colombie	1985	25 000	Lahars
25	Pinatubo, Philippines	1991	800	Effondrement sectoriel, maladie

Sources : (Blong, 1984; Lavigne, et al., soumis), <http://www.pdc.org>

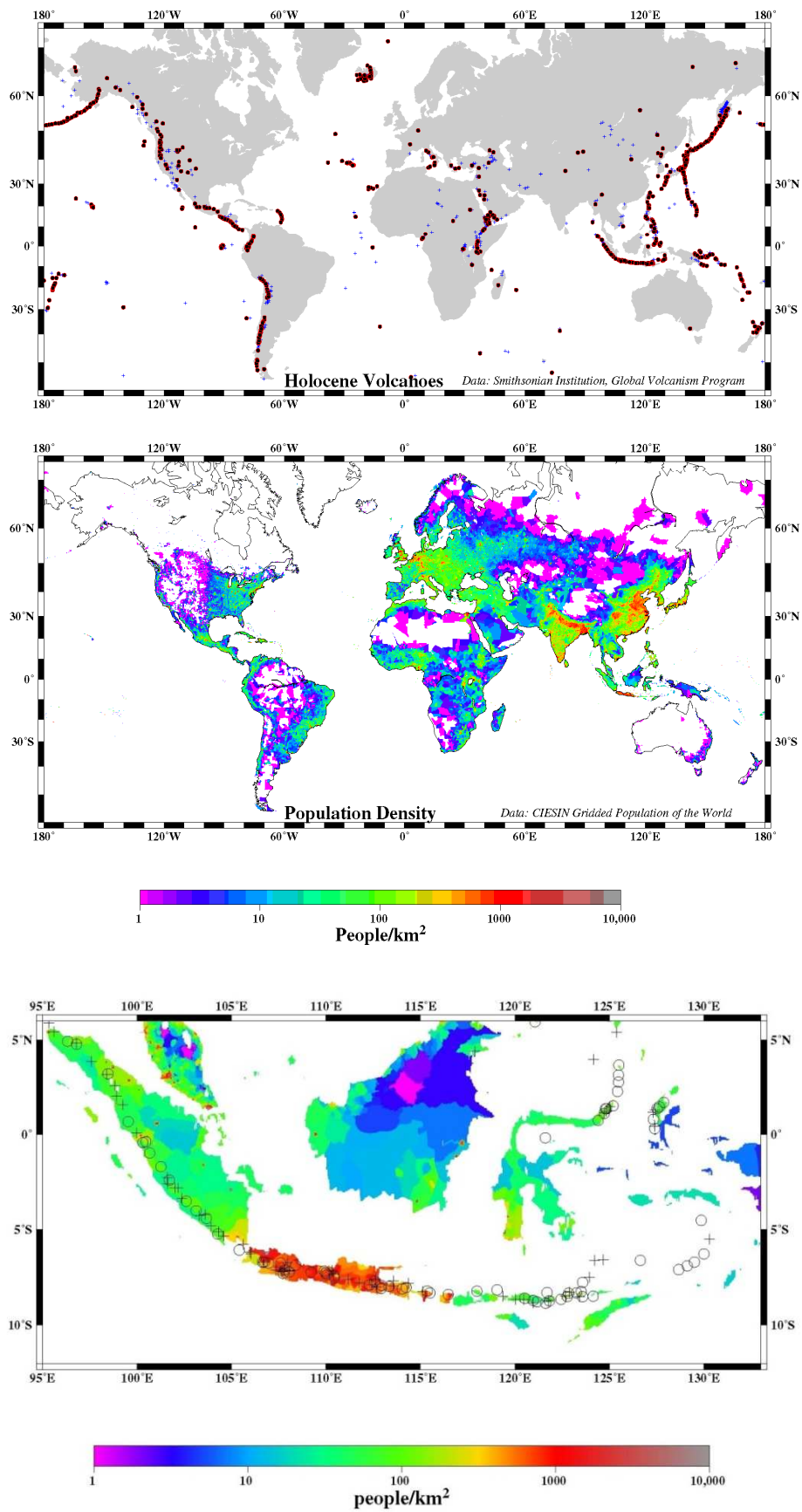


Figure 5. Répartition mondiale des volcans holocènes et densité de population dans le monde et en Indonésie(Small, et al., 2001)

## 2. Gestion des risques et des crises

### 2.1. Gestion des risques

Afin de réduire les conséquences des catastrophes dites “naturelles” ou technologiques, il est nécessaire de disposer d'une politique de gestion des risques qui anticipe toutes les décisions administratives et processus opérationnels liés aux activités de prévention, préparation, réponse, rétablissement et développement (ADPC, 2005). La gestion des risques (ou « *disasterrisk management* ») s'organise en trois phases : pré-, syn- et post- aléa (ou catastrophe en cas d'impacts majeurs) (Figure 6).

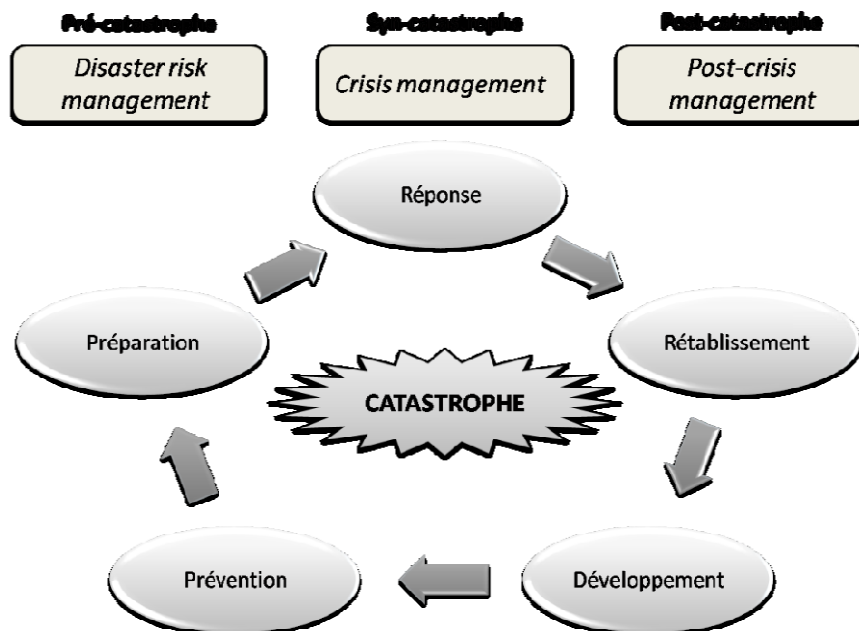


Figure 6. Organigramme de la gestion du risque, modifié d'après ADPC (2005)

#### a) Pré-catastrophe

La phase de pré-catastrophe comprend la prévention et la préparation. La prévention inclut les politiques et les activités qui ont pour but de réduire la vulnérabilité d'une zone donnée face à une catastrophe potentielle. Les mesures prises peuvent être structurelles ou non-structurelles. Les premières utilisent des mesures d'ingénierie telle que le renforcement d'infrastructures. Les secondes se réfèrent aux politiques de sensibilisation, au développement de connaissances et de capacités, à la sécurité économique (l'épargne ou l'assurance), et à l'aménagement du territoire visant à réduire la vulnérabilité aux catastrophes (Freeman, et al., 2003). La préparation signifie la

planification des interventions d'urgence et le renforcement des capacités avant qu'une catastrophe se produise. Elle peut être traduite par la formation, l'élaboration d'un plan d'urgence, l'éducation à la gestion d'urgence, la détection et les systèmes d'alerte, des routes d'évacuation et d'abris (ADPC, 2005; De la Cruz-Reyna, et al., 1999), etc.

#### b) Syn-catastrophe

Cette phase de réponse comporte des actions prises immédiatement avant, pendant et immédiatement après l'occurrence d'une catastrophe, afin de minimiser le nombre de victimes ou l'ampleur des dommages (Freeman, et al., 2003). Elle inclue l'identification des dangers et des moyens d'alerte, de secours, d'évacuation, de soins médicaux d'urgence, de construction d'abris, d'évacuation des populations, et de fournitures d'urgence (eau, alimentation, médicament, équipement). La réponse aux catastrophes dépend considérablement de la planification et de la formation dans la phase précédente (pré-catastrophe).

#### c) Post-catastrophe

La phase post-catastrophe inclut le rétablissement et la reconstruction, impliquant une assistance à long terme pour les victimes. L'objectif de cette phase est de faciliter le retour de la communauté touchée à son état pré-catastrophe, en prenant en compte aussi bien la réparation des infrastructures et la reconstruction, que la remise à niveau voire l'amélioration des moyens de subsistance (ADPC, 2005; Freeman, et al., 2003).

La réduction des risques de catastrophes inclut des mesures d'ordres politique, technique, social ou économique. Afin d'être efficaces, toutes ces actions doivent être réalisées non seulement par les responsables gouvernementaux mais également par tous les membres de la société. Les volcanologues sont en charge de fournir une information adéquate (en termes de contenu et de fréquence) et des conseils fondés sur les résultats des études scientifiques, mais *in fine* ce sont les autorités qui prennent les décisions promouvant la réduction des risques via la politique d'occupation du sol, l'utilisation de plans d'urgence, l'alerte, et d'autres mesures d'atténuation y compris l'évacuation (Tilling, 2008) (Figure 7).

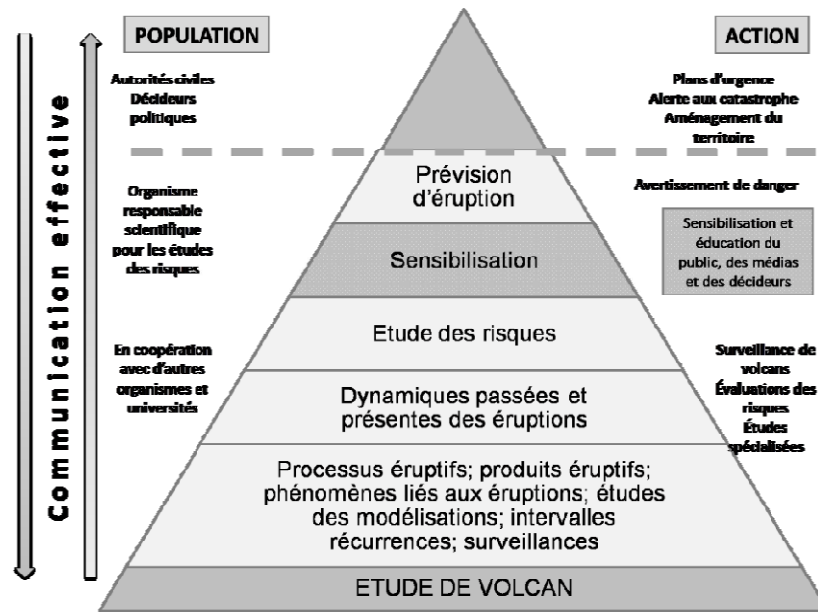


Figure 7. Eléments essentiels d'un programme efficace de réduction des risques volcaniques (Tilling, 2008)

## 2.2. La gestion des crises volcaniques

A la différence d'autres aléas tels que les séismes ou les glissements de terrain, on relève au moins deux spécificités des crises volcaniques.

La première est associée aux enjeux humains. Les zones volcaniques sont souvent densément peuplées: les sols volcaniques, couvrant 1% de la surface de la Terre, sont occupés par près de 10% de la population mondiale compte tenu de leur grande fertilité (Neall, 2006). Ainsi, le risque est plus élevé que pour les autres régions, et ce d'autant plus que la plupart des régions volcaniques densément peuplées sont situées dans les pays en voie de développement, où les mesures d'atténuation de risque ne sont pas encore bien développées.

La deuxième raison est liée aux incertitudes de l'activité volcanique. A l'inverse des séismes, les éruptions volcaniques peuvent être prévues, car elles sont accompagnées de phénomènes physiques et de réactions chimiques qui agissent comme des signes précurseurs. La surveillance d'un volcan est donc une tâche primordiale dans la gestion du risque volcanique. Les études géologiques et d'autres enquêtes géo-scientifiques sont des conditions préalables à la compréhension du comportement passé d'un volcan. Ces études peuvent fournir des données pour prévoir et modéliser son activité future probable, élément essentiel pour anticiper les crises volcaniques. Même avec des données de surveillance, il est cependant impossible de savoir précisément quand et comment aura



lieu une éruption. La **Figure 8** montre ainsi comment plusieurs épisodes de crise d'un volcan aboutissent à des résultats différents.

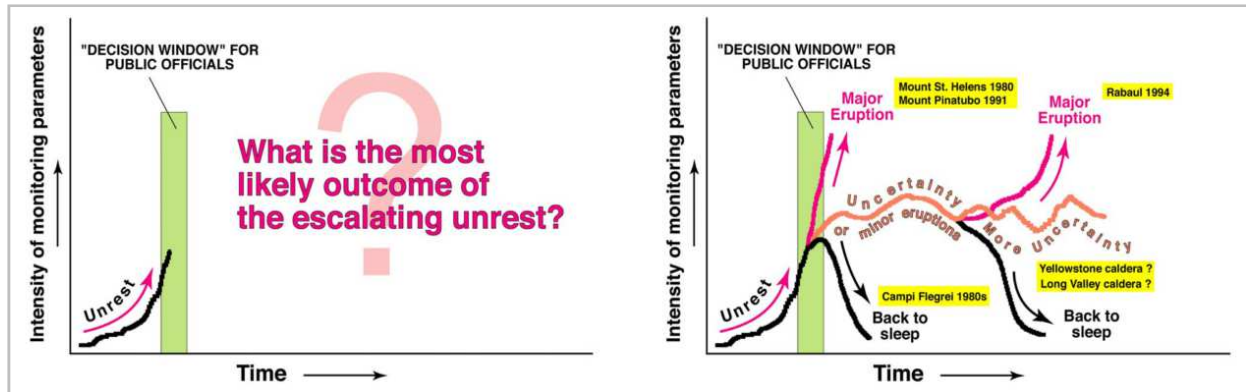


Figure 8. Incertitudes de l'activité volcanique soulevant des difficultés pour la gestion de crise (Tilling, 2008)

L'incertitude sur le type d'éruption soulève des difficultés de la gestion de crise pour les autorités civiles et les scientifiques. Lors des éruptions du Mont Saint-Helens, aux Etats Unis, en 1980 et du Pinatubo, aux Philippines, en 1991, les scientifiques et les autorités civiles ont globalement réussi à gérer la crise en donnant l'ordre d'évacuation avant que l'éruption ne débute, et les habitants ont pu se déplacer à un endroit plus sûr. Cependant, les scientifiques et les autorités civiles mettent en jeu leur crédibilité quand une éruption théoriquement prévue ne se produit finalement pas, alors qu'un ordre d'évacuation a déjà été donné au public, comme par exemple lors des éruptions de la Soufrière de Guadeloupe en 1976 (Tazieff, et al., 1990) ou du volcan Kelud en 2007 (De Bélizal, et al., 2011). Cette incertitude peut être minimisée grâce à une bonne surveillance du volcan en temps réel ou quasi-réel. Cela permet d'obtenir une prévision fiable de l'activité volcanique à court terme. Cette prévision peut être ensuite utilisée par les autorités civiles pour émettre des alertes précoces, ainsi que pour organiser l'évacuation des populations.

Il est important aussi de mentionner qu'une crise volcanique peut avoir des effets en relai :

- une crise sanitaire, liée au manque d'hygiène dans les camps de déplacés ou aux cendres volcaniques qui entraînent des affections respiratoires et polluent l'eau potable (dans les puits ou les réservoirs d'eau) ;

- une crise économique : la cessation de production à l'échelle locale voire régionale, la perte de biens ou d'épargne, des problèmes logistiques, notamment le transport aérien, etc. ;
- une crise sociale et psychologique, liée à la perte de sa maison et/ou de son travail, aux inégalités dans la distribution de l'aide, au sentiment de désespoir, d'impuissance, de peur pour faire face à la condition de crise, etc.

Les problèmes relatifs à la gestion de crise peuvent se démultiplier à cause d'autres risques pouvant survenir pendant la période d'évacuation tels que le vol de biens aux villages ou la perte des bêtes ou des récoltes (Gaillard, 2008). Cela pousse certaines populations à faire des allers-retours quotidiens depuis les camps de déplacés vers leur village d'origine lors d'une période d'évacuation, comme cela a par exemple été observé au Kelud (De Bélizal, et al., 2011), au Pinatubo (Gaillard, 2008), ou à Montserrat (Lesales, 1997; Lesales, 1999).

### **2.3. Système d'alerte pour les éruptions volcaniques**

« Le système d'alerte inclut l'ensemble des capacités nécessaires afin de produire et diffuser en temps opportun et utile des bulletins d'alerte permettant à des individus, des communautés et des organisations menacées par un danger, de se préparer et d'agir de façon appropriée en temps utile pour réduire le risque de dommage ou de perte » (ISDR, 2009). Les éruptions volcaniques sont repérables à leurs précurseurs. Toutefois, il n'y a qu'une centaine de volcans actifs bien surveillés dans le monde (Zlotnicki, et al., 2012), principalement en raison du manque de ressources dans les pays en développement.

L'information sur l'activité volcanique est fondée sur différents phénomènes précurseurs tels que les séismes peu profonds, les déformations de terrain, les émanations accrues ou le changement de composition des gaz volcaniques, l'accroissement de l'intensité et de la température des fumerolles, des glissements de terrain, ou encore une augmentation de l'activité magmatique (données acoustiques). L'alerte précoce ne peut être efficace que si le système est axé sur la population et repose sur quatre éléments principaux: la connaissance du risque, l'efficacité de la surveillance et de l'alerte, la communication de crise, et les capacités de réponse (ISDR, 2006). En général, la communication s'appuie sur la diffusion et l'explication de la carte du risque et des niveaux d'alerte souvent représentés par des codes couleur.

### 3. Les évacuations : un moyen de réduire les conséquences des catastrophes

#### 3.1. Concept et rôle des évacuations

Une évacuation massive ou un abri sur place peuvent être utilisés comme moyen de protection de la population contre des dommages éventuels causés par des aléas d'origine naturelle ou anthropique (Sorensen, et al., 2004). L'abri sur place est une option à privilégier s'il y a un risque pour la population d'être exposée à certains aléas et si l'abri peut fournir un niveau adéquat de protection. Cependant, l'évacuation est une procédure souvent utilisée en cas d'ouragans, d'inondations, d'incendies de forêt (Perry, et al., 2003) ou lors des crises volcaniques. Le terme évacuation peut signifier beaucoup de choses: l'évacuation aérienne, l'expulsion, l'évacuation officielle par les autorités ou l'abandon définitif d'une zone en vue d'une relocalisation dans un autre lieu (Blong, 1984).

Le concept de l'évacuation est simple : il s'agit de déplacer les populations d'un endroit menacé vers un endroit plus sûr (Southworth, 1991; Zelinsky, et al., 1991). Cependant, en réalité, les évacuations, surtout lors de crises majeures, ne sont pas faciles à organiser. Le cas de l'ouragan Katrina aux Etats-Unis en 2005 a prouvé qu'il n'est pas toujours possible d'évacuer toutes les personnes en danger surtout quand les effectifs s'élèvent à des centaines de milliers de personnes. L'évacuation lors de cet événement a été efficace seulement pour les habitants ayant des véhicules (Litman, 2006). Une analyse réalisée par Wolshon (2002) avant la catastrophe avait montré l'insuffisance des capacités routières et le manque de véhicules particuliers en cas de future évacuation<sup>2</sup>. Litman (2006) a indiqué que le gouvernement était au courant de cette situation et était prêt à assumer le risque important lié aux carences de transport. Il faut aussi noter lors de cette crise l'absence de consignes d'évacuation et d'aide aux personnes n'ayant de moyen de locomotion (Renne, 2005). La mairie avait établi dix points de rassemblement où les autobus devaient récupérer les personnes à évacuer, mais le service n'était pas fiable, et indisponible le dimanche, jour où l'évacuation de la Nouvelle-Orléans a été décrétée par le maire. Les évacués ont été dirigés vers le Superdome, mais il n'y avait pas suffisamment d'eau, de nourriture, de soins médicaux pour tous les réfugiés et pas d'électricité (donc pas de climatisation au plus fort de l'été - fin août)!

---

<sup>2</sup> La zone à risque de La Nouvelle Orléans compte 1,4 million habitants. En cas de catastrophe, 850 000 personnes évacueraient d'elles-mêmes, 200 000 à 300 000 personnes sans véhicule privé devraient être évacuées, et 100 000 personnes ne voudraient pas évacuer (Wolshon, 2002).

Dans la gestion des catastrophes naturelles, l'évacuation ne constitue qu'un petit maillon entre la phase de prédiction et la phase de réponse comme montré sur la Figure 9 (Schramm, et al., 1991). Cependant, son rôle est très important pour protéger la population des aléas volcaniques. Sans évacuation, les habitants des zones menacées par des coulées ou des déferlantes pyroclastiques pourraient être tués sur le coup. Ainsi, une évacuation est un moyen efficace de minimiser le nombre de victimes. En Indonésie, la politique de réduction du nombre de victimes de catastrophes d'origine naturelle est cruciale, comme le souligne le slogan « *road to zerovictim* », (Klaten, 2009; Sleman, 2009; Magelang, 2009). Comme mentionné dans la loi 24-2007, l'évacuation des populations doit être menée au cours de la réponse d'urgence. Afin d'assurer la sécurité des populations dans des zones soumises à un risque, un plan d'évacuation est ainsi indispensable. En conséquence, les décideurs politiques se doivent de concevoir ce plan et de régulièrement mettre à jour les scénarios qui sont les plus susceptibles de se produire (Alexander, 2002).

Grâce au développement de la gestion des risques volcaniques, l'évacuation des populations devient de plus en plus commune (Tobin, et al., 2002). Plusieurs études sur l'évacuation lors des crises volcaniques ont été menées par différents chercheurs de plusieurs disciplines: Bird et al. (2010) ont par exemple étudié la perception qu'ont les populations du risque volcanique et des processus d'évacuation au volcan Katla (Islande); Woo (2008) a soulevé la nécessité de critères probabilistes pour la décision d'évacuation lors des crises volcaniques en ajoutant une analyse coûts-bénéfices. Certaines études sur les évacuations ont été également engagées par des ingénieurs, notamment des informaticiens en modélisant des évacuations pour d'autres aléas (Shi, et al., 2009; Lo, et al., 2004; Tavares, et al., 2009; Saadatseresht, et al., 2009; Georgiadou, et al., 2007) mais ce type d'étude n'a pas encore été appliqué au risque volcanique. Les questions élémentaires qui se posent dans le cadre de la gestion des évacuations sont « *qui ?, quand ?, où ?, comment ?, et combien de temps ?* ».

Les principes dans la planification des évacuations comprennent: la détermination de l'autorité juridique pour évacuer, la création d'une structure de gestion des évacuations, une définition claire des rôles et responsabilités des différents acteurs, l'élaboration de plans appropriés et flexibles, un système d'information et d'alerte efficace, l'assurance de la capacité de transport, une coopération avec des communautés dans les zones à risques, et le test des plans élaborés par le biais d'exercices.

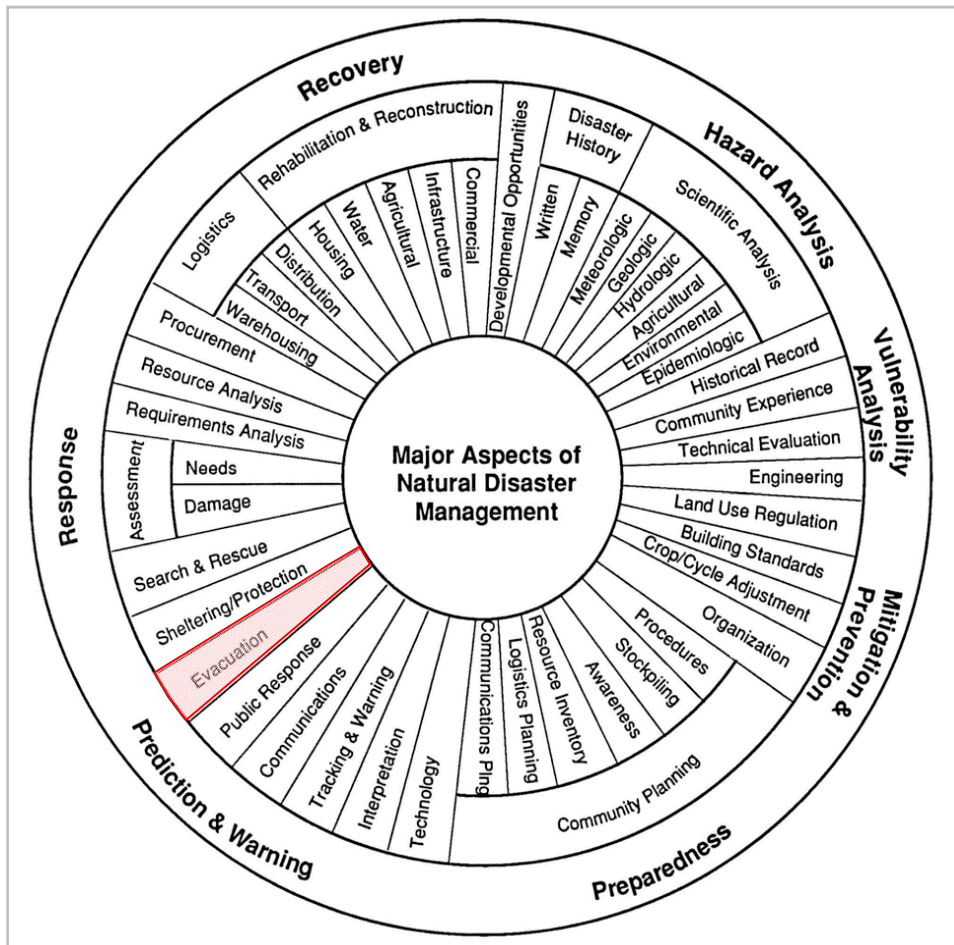


Figure 9. Aspects majeurs de la gestion des catastrophes naturelles (Schramm, et al., 1991)

### 3.2. Phases et types d'évacuations

L'évacuation est un processus complexe qui compte au moins cinq phases importantes: la décision d'évacuer, l'alerte, le rassemblement, le refuge en zone sûre, et le retour au lieu d'origine (EMA, 2005).

#### 1) Décision d'évacuer

La prise de décision d'évacuation doit être fondée sur des informations valides et pertinentes. Si la décision est prise trop tôt et que la probabilité de l'aléa diminue, cela implique des inconvénients. Par exemple, un séjour prolongé dans un camp de déplacés ou le manque d'information sur l'activité volcanique en cours par les volcanologues peuvent amener les déplacés à retourner prématurément dans leur village. Si la décision est au contraire prise trop

tard, les populations sont obligées d'évacuer en urgence ou de rester à l'abri surplace et d'en accepter les conséquences. Ainsi, la planification de l'évacuation doit résoudre au moins certaines questions fondamentales (Figure 10)(EMA, 2005):

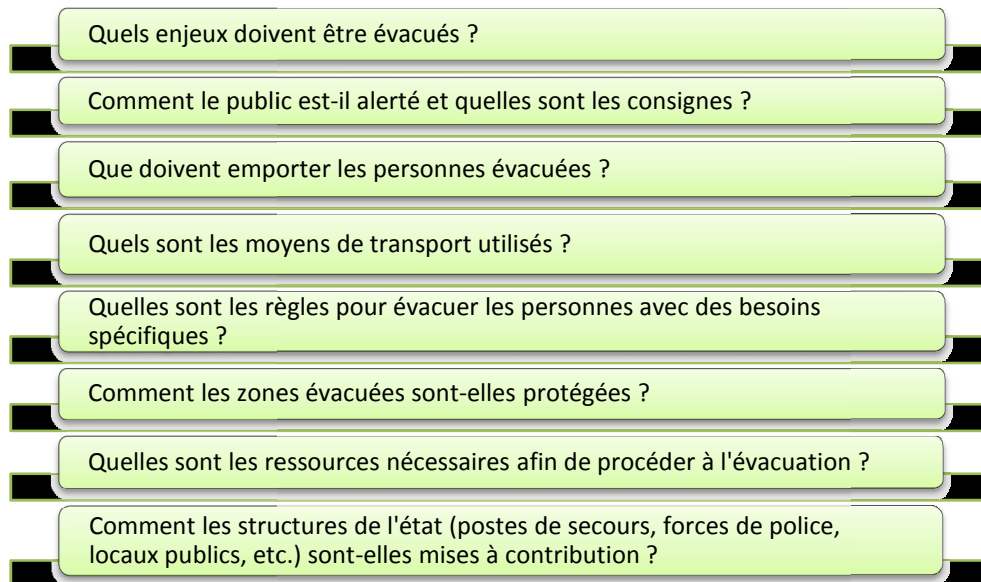


Figure 10. Questions importantes pour la planification des évacuations (EMA, 2005)

## 2) Alerte

L'alerte est la deuxième étape dans le cadre de la gestion des évacuations. Elle a pour but de diffuser les informations sur l'activité volcanique et les ordres donnés par les autorités. La bonne conduite d'une évacuation dépend en grande partie de l'efficacité du processus d'alerte, variable en fonction du temps de transmission des messages, du moyen d'alerte employé, des distances géographique et relationnelle entre émetteurs et récepteurs du message, de l'existence ou non de preuves visuelles de l'aléa à l'origine de l'alerte, des caractéristiques de cet aléa (notamment son intensité et le temps qu'il laisse aux populations pour se mettre à l'abri), des capacités des services d'urgence, etc. Plus la menace est précise et imminente, plus les populations sont aptes à accepter l'ordre d'évacuer et à réagir.

Il est essentiel que tous les acteurs impliqués dans la phase d'alerte aient une compréhension claire de leurs propres rôles et responsabilités. La formulation du message doit impliquer la participation des communautés, des médias, des services d'urgence, des organismes gouvernementaux, des industries privées, et des organisations non gouvernementales. Quelques responsabilités principales doivent être clairement identifiées dans la phase d'alerte

: qui est responsable de la délivrance du message ? Qui autorise le contenu ? Qui fournit les installations de système d'alerte ?

Les messages d'alerte doivent être préparés par l'organisme chargé de surveiller le danger et comporter des informations indispensables (EMA, 2005) :

- l'autorité de délivrance du message ;
- la date et l'heure de la délivrance ;
- une description exacte du danger (ce qui s'est produit ou est susceptible de se produire);
- la zone susceptible d'être affectée à court et moyen terme;
- des conseils à ceux qui reçoivent l'avertissement (évacuer ou rester à l'intérieur, le risque en cas de non-respect des consignes, ce qu'il faut emporter, les médias référents, la sécurisation des lieux et biens personnels, les voies d'évacuation, les zones de rassemblement, l'assistance disponible);
- les mesures prises pour maîtriser le danger ;
- le délai avant le prochain communiqué.

La planification de l'évacuation doit tenir compte du fait que certains groupes ayant des besoins spéciaux peuvent être informés à l'avance.

L'alerte peut être donnée par les moyens de communication tels que téléphone, texto, haut-parleur, sirène, radio, télévision, internet et réseaux sociaux, talkie-walkie, journaux, panneau d'affichage ou bien par les agents qui accèdent directement aux zones évacuées.

### 3) Evacuation

L'évacuation implique le ralliement et le départ des personnes d'une zone dangereuse ou potentiellement dangereuse vers une zone plus sûre. Nous pouvons différencier deux types d'évacuation : l'évacuation spontanée et l'évacuation planifiée (MCDEM, 2008).

- a) L'évacuation spontanée ou immédiate est une évacuation résultant d'un danger immédiat, avec peu ou pas d'avertissement et un temps de préparation limité. Les exemples d'évacuation immédiate sont souvent liés à des accidents de transport de matières dangereuses, accidents d'avion, incendies, ou tremblements de terre.
- b) L'évacuation planifiée ou « *préavertie* » est fondée sur un événement permettant de lancer une alerte qui laisse le temps à la population exposée de se préparer à l'avance. Les

exemples de ce type d'évacuation concernent par exemple les inondations, les cyclones et les tempêtes.

Selon l'organisation des ressources, l'évacuation peut être également subdivisée en deux types, « *top down* » et « *bottom-up* ».

- a) Dans les évacuations « *top-down* », les responsables de la gestion de crise utilisent l'évacuation obligatoire comme une action protectrice, qui a pour but de minimiser le nombre de victimes pendant la période de crise. Ce type d'évacuation est organisé principalement par les autorités et l'armée.
- b) L'évacuation « *bottom-up* » est au contraire organisée par les gens ou les communautés en déployant les ressources locales (personnels locaux, moyens de transports locaux). Une évacuation spontanée se produit lorsque les gens décident d'eux-mêmes de s'éloigner d'une zone à risque. Cette évacuation est distincte de l'évacuation obligatoire gérée par les autorités et peut s'avérer plus risquée si le processus d'évacuation n'est pas bien géré. Ce type d'évacuation a été mené par les communautés près du volcan Ijen en Indonésie en décembre 2011 (Solopos, 2011). Il peut devancer une évacuation obligatoire, comme ce fut le cas à la Soufrière en 1976 (Tazieff, et al., 1990).

#### 4) Refuge dans les camps de déplacés

Le camp de déplacés est le lieu temporaire dédié à l'accueil des personnes évacuées. Les zones et centres de refuge doivent être planifiés pour être bien placés, accessibles, et facilement reconnaissables par les communautés. La planification des évacuations repose parfois sur l'existence de deux types de zone refuge : la destination « ultime » et la destination « proximale » (Lindell, et al., 2007). Les destinations « proximales » sont considérées comme des espaces où les évacués s'abritent temporairement avant de rejoindre un camp de déplacés. Les destinations « ultimes » sont les établissements publics et privés, où les évacués restent avant de retourner dans leur maison. Les centres de réfugiés doivent fournir suffisamment d'espace pour accueillir les évacués et être situés dans des zones avec un bon niveau d'accessibilité afin d'acheminer l'aide humanitaire et l'assistance médicale. D'un point de vue pratique, les stades de sport, les écoles publiques ou les bâtiments universitaires peuvent être utilisés car ils ont été conçus pour accueillir un grand nombre de personnes.



### 5) Retour au village

Le retour est la dernière étape du processus d'évacuation. Il est nécessaire d'évaluer la zone à risque afin de déterminer si le retour est possible ou non, et pour identifier si des conditions particulières ont besoin d'être imposées. Le retour peut être considéré si le danger qui nécessitait l'évacuation n'existe plus. Il n'est possible que si la sécurité des populations et des structures (logements, services publics, infrastructures de transport, etc.) est assurée, et que des aides peuvent être fournies pour assurer les besoins quotidiens des villageois, leur accès aux soins, etc., notamment pendant les premiers jours après le retour.

## 3.3. Echelles appliquées dans la gestion des évacuations

L'échelle d'une évacuation est définie en fonction du nombre de personnes qu'elle concerne et des ressources nécessaires à sa réalisation (Tableau 5). Ce classement par échelle est cependant variable d'un pays à l'autre, les seuils fixés n'étant pas harmonisés.

Tableau 5. Différentes échelles d'évacuation des populations (HMG, 2006)

Définition	Ressources Nécessaires	Les personnes affectées	Exemple
<b>Évacuation à l'échelle locale</b>	Intervenants locaux	Jusqu'à 1000	Une ou deux rues évacuées à la suite d'une fuite de gaz ou évacuation à l'échelle d'un site
<b>Évacuation à l'échelle moyenne</b>	Intervenants locaux, éventuellement avec le soutien régional/national	1000 – 25 000	Evacuation d'une ville ou d'un site industriel important
<b>Évacuation à grande échelle</b>	Intervenants locaux, éventuellement avec le soutien régional/national	25 000 – 100 000	Evacuation en réponse à la fuite de produits chimiques
<b>Évacuation de masse</b>	Local, régional, national	Plus de 100 000	Evacuation en réponse à des inondations très importantes

Différentes échelles sont employées pour la modélisation des évacuations. Trois approches distinctes (Pidd, et al., 1996; Sheffi, et al., 1982; Southworth, 1991; Hardy, et al., 2007) se différencient les unes des autres principalement en fonction de leur capacité à modéliser une zone géographique et de la précision de l'analyse qu'elles permettent (Figure 11) :

- 1) Les micro-simulateurs correspondent à une échelle où chaque récepteur individuel à risque (personne ou véhicule) est modélisé. La modélisation à cette échelle prend beaucoup plus de temps à réaliser, mais elle fournit plus de détails aux planificateurs d'urgence et aux utilisateurs finaux, par exemple le nombre de bâtiments effondrés, de victimes, les inondations sur les voies d'évacuation, etc.
  - 2) Les méso-simulateurs, qui font le lien entre la macro échelle et la microéchelle, et dont les récepteurs sont regroupés. L'évacuation est estimée par l'évaluation des besoins (nombre de véhicules à évacuer par exemple) et de la capacité des routes.
  - 3) Les macro-simulateurs, dans lesquels les récepteurs sont regroupés. L'estimation des temps d'évacuation est fondée uniquement sur la sortie de la zone à risque, sur l'itinéraire et sur la vitesse moyenne d'évacuation. Un modèle à macro échelle est souvent utilisé pour avoir une première estimation du temps d'évacuation sur grande surface, par exemple à l'échelle régionale. Aujourd'hui, les modèles macros sont encore utilisés dans la planification des évacuations et s'avèrent utiles dans l'analyse des aléas pouvant atteindre de grandes magnitudes comme les ouragans, les inondations, les éruptions volcaniques ou les accidents nucléaires dont l'occurrence peut menacer une grande zone géographique. Cependant, les approches macros demeurent difficiles à utiliser lorsqu'une planification d'évacuation très spécifique est souhaitée, cas dans lequel les micro- et méso-simulateurs doivent être privilégiés.
- L'échelle macro sera exploitée dans cette étude et une analyse à échelle locale sera ajoutée afin de mieux comprendre les enjeux de la gestion des évacuations.

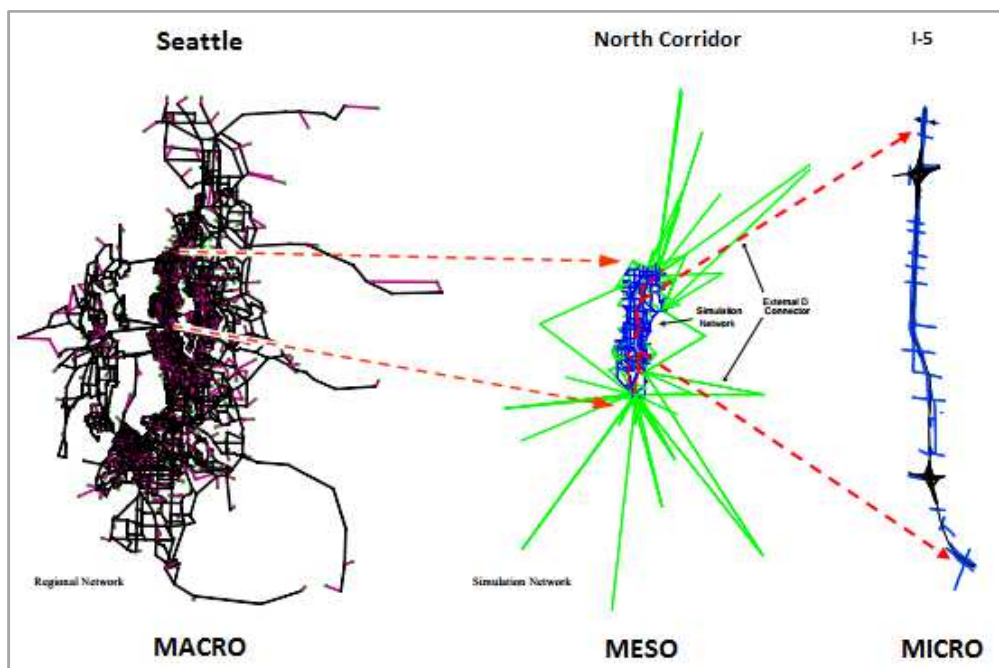


Figure 11. Echelles utilisées dans les modèles de simulation d'évacuation (Hardy, et al., 2007)

### 3.4. La spécificité des évacuations lors des crises volcaniques

L'évacuation lors des crises volcaniques a une spécificité par rapport à l'évacuation lors des crises liées à d'autres aléas: la durée d'évacuation n'est pas certaine (Gaudru, 2005). Cette incertitude est favorable à l'émergence de difficultés et à la naissance de frustrations parmi la population pendant la phase d'urgence.

#### 1) Un exemple d'évacuation « inutile » : la Soufrière de Guadeloupe en 1976

La crise de la Soufrière en 1976 peut être considérée comme l'une des plus importantes crises volcaniques pour ce qui est de la gestion des évacuations, celles-ci ayant duré trois mois et demi et concerné 72 000 personnes, soit un cinquième de la population de l'île. L'évacuation, déclenchée par précaution, a été fondée sur une hypothèse qui n'a pas été bien argumentée. Comme l'éruption majeure prévue par certains scientifiques n'a finalement pas eu lieu, il y a inévitablement eu une insatisfaction de la part de ceux dont l'activité socioéconomique avait été interrompue. Cette insatisfaction a été renforcée par la controverse entre scientifiques (Haroun Tazieff opposé à Michel Feuillard et Claude-Jean Allègre) sur les critères à prendre en compte pour émettre l'ordre d'évacuation (Tazieff, et al., 1990). La polémique qui en a découlé a montré que toutes les observations scientifiques et leurs interprétations doivent faire l'objet d'un consensus avant d'être communiquées aux autorités civiles ou aux médias. La gestion de crise de 1976 fait figure d'exemple à ne pas suivre car elle a été traitée dans la précipitation (Stieltjes, 2003). Cependant, grâce à cette crise, les scientifiques et les autorités ont désormais élaboré un plan de crise qui prend en compte plusieurs scénarios d'éruptions possibles du volcan avec différentes étapes d'évacuation.

#### 2) Une absence de décision d'évacuation à l'origine de la catastrophe d'Armero

L'éruption du volcan Nevado del Ruiz en 1985 en Colombie a engendré des lahars syn-éruptifs qui ont tué plus de 20000 habitants de la ville d'Armero. Cette éruption ayant eu lieu en pleine crise militaire, le gouvernement était occupé à régler d'autres problèmes, ce qui a contribué à retarder la diffusion de la carte d'aléas du Nevado del Ruiz à l'automne 1985. Par ailleurs, le gouvernement n'était pas prêt à assumer les coûts économiques ou politiques d'une évacuation anticipée ou d'une fausse alerte. La catastrophe résulta donc d'un risque calculé. Les causes les plus immédiates et les plus évidentes furent les limites de détection et de prédiction, le refus

d'éventuellement délivrer une fausse alerte, et la non prise en compte des informations scientifiques disponibles. L'événement crucial a eu lieu seulement deux jours avant que le plan de gestion d'urgence d'Armero soit soumis à révision et amélioré. Ainsi, la catastrophe d'Armero n'a pas été causée par l'inefficacité ou la défectuosité technique, ni par une éruption majeure, mais plutôt par une erreur humaine cumulative : l'erreur de jugement, l'indécision et la myopie bureaucratique (Voight, 1990).

### 3) Refus d'évacuer et prise en compte partielle du public à évacuer au Mont Saint-Helens en 1982

Cette éruption est un exemple de crise volcanique dans une zone peu peuplée d'un grand pays développé. Après avoir identifié les données de plus de 100 couches de tephra, Crandell et al. (1975) avaient suggéré que le Mont Saint-Helens était le volcan le plus actif de la chaîne des Cascades et qu'une future grande éruption était probable. En 1980, le volcan est entré dans une nouvelle période d'activité explosive avec plus de douze épisodes de construction de dôme (Lipman, et al., 1981). Une évacuation a été ordonnée peu après le début de l'éruption, encore modérée à ce moment-là. Cependant, les autorités ont éprouvé des difficultés à déplacer certains résidents et travailleurs du bois qui ne voulaient pas être évacués. Par ailleurs, des touristes ont réussi à entrer dans la zone à risque et n'ont pu être alertés (UN, 1985). Ainsi, 57 personnes ont été tuées par les coulées pyroclastiques et par les émanations de gaz. Ce chiffre reste minime compte tenu de l'ampleur de l'éruption mais révèle des difficultés liées aux refus d'évacuation et à la prise en compte de l'ensemble des publics dans les procédures de gestion de crise.

### 4) Des exemples d'évacuations « bien gérées »

Dans les pays développés, des exemples d'évacuations « bien gérées » sont ici présentées : celle du volcan Usu au Japon en 2000 et celle du volcan Eldfell en Islande en 1973.

Au cours de l'éruption du volcan Usu à Hokkaido, les autorités locales ont publié un avis d'évacuation suivi d'un ordre d'évacuation. Environ 16000 habitants et touristes ont été évacués en une journée. L'éruption a eu lieu un jour et demi après que l'évacuation a été achevée. Cette éruption importante a causé d'énormes pertes économiques pour les zones touristiques (notamment

les sources chaudes se situant sur les flancs du volcan). Cependant, grâce à l'utilisation efficace de la carte des zones à risques et à la mise à jour continue de la zone évacuée en fonction de l'activité volcanique, personne n'a pas été tué ni blessé. De surcroît, une forte coordination entre tous les ministères et les organisations concernées a permis un processus efficace d'évacuation et de mise en place immédiate d'abris (Augendre, 2004). On retrouve ce type d'évacuation à ajustements constants sur l'île de Montserrat, où après des extensions successives, les deux tiers méridionaux de l'île furent déclarés zone interdite en quelques mois. Dans une zone tampon centrale, les retours temporaires dans les quartiers évacués étaient autorisés. Cette zone devait être évacuée immédiatement si les sirènes résonnaient (Buffonge, 2000).

L'évacuation des populations lors de la crise liée à l'éruption du volcan Eldfell en 1973 dans l'est de l'île d'Heimaey (Islande) fut également une réussite, l'éruption - certes principalement effusive - n'ayant fait aucune victime (Williams, et al., 2000; Williams, 1997). La réussite et la vitesse de l'évacuation étaient principalement dues au fait que la défense civile islandaise avait bien préparé des plans d'urgence pour faire face aux crises volcaniques. Lorsque les cendres volcaniques ont commencé à tomber, la défense civile a informé les populations et ordonné une évacuation grâce aux sirènes. La population a été évacuée de l'île d'Heimaey par hélicoptère et par bateau, chacune des personnes évacuées ayant été autorisée à n'emporter qu'un sac d'objets personnels (UN, 1985). Des abris temporaires ont été préparés pour accueillir les évacués et des mesures prises pour que les enfants puissent aller à l'école.

Dans les pays en voie de développement, deux exemples d'évacuations « bien gérées » sont celles du Pinatubo aux Philippines en 1991 et du Galunggung en Indonésie en 1982.

L'expérience de l'éruption du Pinatubo peut être considérée comme une évacuation « bien gérée » grâce au système de surveillance et d'alerte mis en place sur le volcan. Le réveil du volcan a été diagnostiqué suffisamment tôt, les risques ont bien été identifiés, les zones vulnérables ont été prévues en fonction de l'interprétation des données historiques et géologiques des éruptions passées (Punongbayan, 1995). Bien que certains volcanologues aient au début contesté l'idée que l'éruption pourrait être de forte magnitude (plinienne), les gestionnaires de crise ont pu évacuer à temps la majorité des habitants de la zone à risque. Ce succès a fourni une leçon précieuse pour le développement de systèmes d'alerte dans la gestion des crises volcaniques et plus généralement dans la gestion du risque (Punongbayan, 1995; Newhall, 2000).

Un autre exemple d'évacuation réussie dans un pays en voie de développement a été celle liée à l'éruption du Galunggung en 1982. Le début de l'éruption a été violent et inattendu et il n'y avait pas d'instruments de surveillance du volcan. Les volcanologues n'ont pu donner l'ordre d'évacuation qu'après la première éruption. Au moins 60000 personnes ont alors été à temps évacuées des zones à risque, l'éruption ne faisant pas de victime directe. Les plans initiaux ont été préparés pour une évacuation de deux mois, mais en réalité, l'activité volcanique s'est prolongée pendant plus de 6 mois. Aucun rapport officiel ne mentionne de victimes mais 58 personnes sont mortes en raison de problèmes d'hygiène dans les camps par l'inhalation de cendres volcaniques (UN, 1985).

Ces exemples de gestion de crises volcaniques montrent que nous ne pouvons pas faire de relation directe entre l'intensité d'une éruption et le nombre de victimes : l'éruption du volcan Nevado del Ruiz était relativement modérée mais a causé beaucoup de victimes. Elle représente un exemple de mauvaise gestion des risques et d'une crise aux conséquences dramatiques. Au contraire, l'éruption paroxysmale du Pinatubo a eu des conséquences humaines relativement limitées. Grâce aux connaissances sur les phénomènes naturels et un bon système de surveillance ainsi qu'une faible densité de population, l'éruption du volcan Mont Saint-Helens a causé relativement peu de victimes. L'évacuation en tant que telle reste toutefois sujette à controverse dans la mesure où elle a rencontré des résistances et été incomplète en termes de public.

Les autres difficultés pour la gestion des évacuations lors des crises volcaniques sont celles inhérentes aux propriétés physiques du terrain, les problèmes liés aux conditions socio-économiques des populations, ou bien des obstacles liés à des facteurs culturels sur le volcan. Les difficultés physiques du terrain sont fortement liées à la topographie montagneuse et à l'insularité qui peuvent compliquer les processus d'évacuation. Les régions volcaniques sont souvent des régions rurales où les activités économiques sont très liées à des systèmes agro-pastoraux plus ou moins traditionnels. Dans certains cas, le refus d'évacuation est lié à l'accès aux ressources (Kelman, et al., 2008) car les gens ne veulent pas laisser leurs biens à la maison ou car une entreprise ne veut pas que son activité économique soit perturbée par l'éruption volcanique, comme dans le cas du Mont Saint-Helens en 1980. Le refus d'évacuation peut être également lié aux représentations culturelles du volcan (Schlehe, 1997; Texier, 2007; Lavigne, et al., 2008; Mei, et al., 2012).

## Conclusion

Plusieurs exemples de gestion des crises et des évacuations lors d'éruptions volcaniques montrent la difficulté de prendre des décisions adaptées afin d'assurer la sécurité des personnes. Dans tous les cas, il faut souligner la nécessité d'une bonne coordination entre experts, autorités civiles, médias, et populations afin de minimiser les risques volcaniques. Cela peut être effectué en préparant un bon plan de réduction des risques dans lequel la planification des évacuations est incluse. Malgré les pertes économiques causées par la fermeture de zones au public - même si l'éruption ne se concrétise pas -, l'évacuation des populations est un des moyens les plus efficaces pour protéger les habitants (Marzocchi, et al., 2009), notamment dans les zones peuplées.

En géographie, peu de recherches examinent la gestion des évacuations de populations en prenant en compte les aspects socio-économiques et socioculturels de la vie communautaire, qui sont pourtant la clé du succès de toute planification officielle. La politique de gestion des risques doit recourir à de nouvelles méthodologies adaptées, avec des informations et des paramètres ajustés au contexte local, aux ressources et aux besoins. Dans les pays en voie de développement, où peu de données détaillées sur la gestion du risque sont disponibles, les approches fondées sur des connaissances et des expériences locales sont des ressources utiles.

Une gestion de crise volcanique est particulière en raison des multiples crises qui peuvent être provoquées par une éruption. L'évacuation lors des crises d'origine volcanique est un sujet particulièrement intéressant à étudier pour plusieurs raisons. La première est liée au fait que l'évacuation est un moyen efficace pour minimiser le nombre de victimes lors une crise d'origine volcanique. Elle est souvent associée à la réussite d'une gestion de crise. La deuxième est fondée sur la complexité du volcanisme et la difficulté associée à établir des prévisions. La troisième raison est liée aux difficultés rencontrées dans le processus d'évacuation, telles que la topographie ou l'insularité. La quatrième raison est liée aux conditions socio-économiques, par exemple le refus d'évacuer afin de maintenir un accès aux ressources. Enfin, la cinquième raison est liée à la représentation culturelle du volcan. Force est de constater que certaines régions volcaniques parmi les plus actives au monde se situent dans les régions densément peuplées. Ainsi, dans les zones fortement menacées par les PDCs, l'évacuation est considérée comme une solution efficace pour minimiser le risque en réduisant les pertes humaines.





# C

## hapitre 2. Le Merapi : un cas représentatif du risque volcanique

---

L'Indonésie se situe dans une des régions volcaniques les plus actives du monde, avec plus de 400 volcans. Entre 1900 et 2008, ce pays a connu au moins 48 éruptions volcaniques avec plus de 17 900 victimes et environ 344 millions de dollars US de pertes économiques enregistrés (EM-DAT, 2009). Aujourd'hui, au moins cinq millions de personnes habitent autour de volcans en Indonésie (PVMBG, 2009). Au cours des deux derniers siècles, les éruptions volcaniques sur l'île de Java ont engendré 175 000 décès (Chester, 1993). Parmi les 130 volcans actifs en Indonésie, le plus actif est le volcan Merapi « la montagne de feu » à Java Centre. La grande fertilité des sols attire les populations vers des zones de plus en plus risquées (Buwono, 2000). Dans les régions peuplées où les populations sont très attachées à leur territoire, l'évacuation temporaire des villages est l'un des moyens les plus efficaces pour réduire les risques volcaniques. Ce chapitre sera dédié à l'étude des aléas volcaniques au Merapi, puis nous aborderons les enjeux de la gestion des évacuations de population. Enfin, nous exposerons la politique de prévention des risques sur ce volcan. Nous concluons sur le besoin d'une étude relative à la gestion des évacuations lors des crises volcaniques du Merapi.

### 1. Activité éruptive et aléas volcaniques au Merapi

#### 1.1. Un des volcans les plus actifs du monde

Le volcan Merapi est un stratovolcan basaltique ou basaltique-andésitique (Andreastuti, et al., 2000), situé à 30 km de la ville de Yogyakarta, à Java Centre (Figure 12). Ce volcan a une altitude variable en fonction de la croissance de son dôme. Avant l'éruption de 2010, il s'élevait à 2968 m, après celle-ci, il a atteint 2911 m. Il est entouré par le volcan Merbabu au nord et par des plaines dans les autres directions.

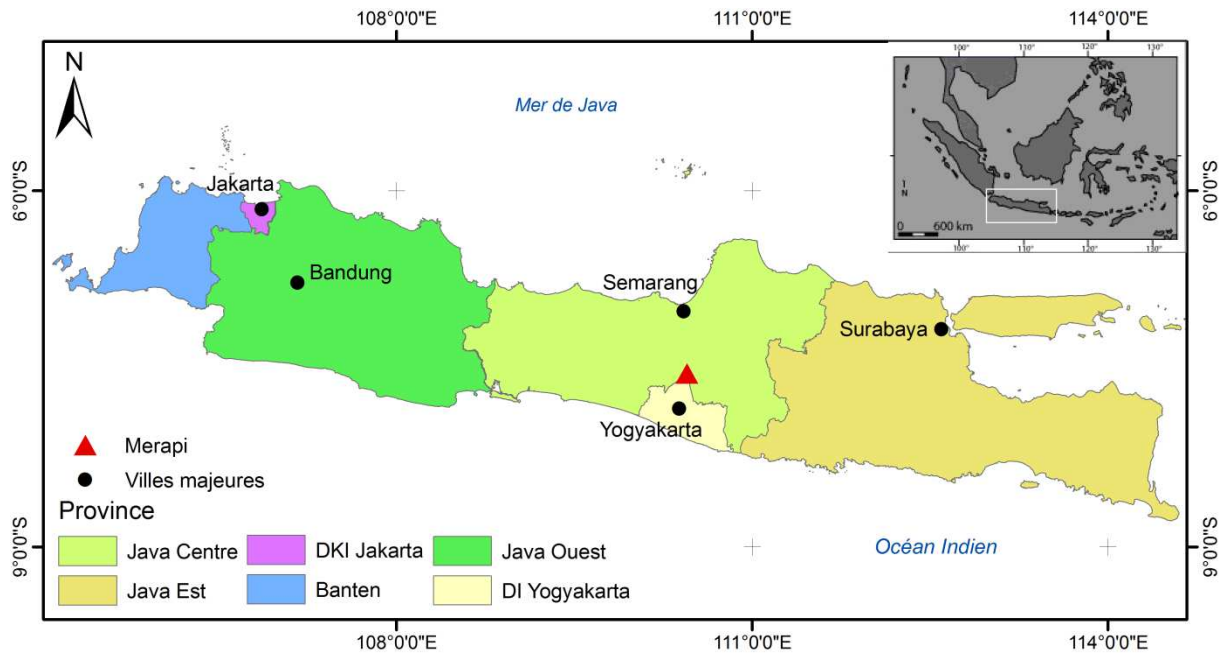


Figure 12. Localisation du Merapi sur l'île de Java

Les études menées par Newhall et al. (2000), Andreastuti et al.(2000), Camus et al.(2000), et Voight et al. (2000), ont suggéré que le comportement récent du Merapi est différent de ses activités préhistoriques. Ce volcan est connu comme l'un des volcans les plus actifs d'Indonésie, voire du monde (Voight, et al., 2000), avec plus de 80 éruptions historiques dont près de la moitié ont été accompagnées de coulées et déferlantes pyroclastiques (PDCs). Environ une douzaine d'éruptions a causé des victimes (SEAN, 1989; Simkin, et al., 1994). Les éruptions du Merapi ont commencé à être enregistrées depuis 1768 (PVMBG, 2009). Cependant, la chronologie détaillée des éruptions a été écrite seulement depuis la fin de XIX<sup>ème</sup> siècle. Le nombre d'éruptions au XX<sup>ème</sup> siècle semble plus élevé qu'au XIX<sup>ème</sup> siècle (Voight, et al., 2000). Cela peut être dû à l'amélioration du recensement des événements au fil du temps (Tableau 6).

D'après Newhall et al. (2000), Andreastuti et al.(2000), et Voight et al. (2000), les éruptions du Merapi étaient plus puissantes au XIX<sup>ème</sup> siècle qu'au XX<sup>ème</sup> siècle. Quatre éruptions de VEI 3 ou plus se sont produites pendant le XIX<sup>ème</sup> siècle, dont une de VEI 4 en 1872. Cette dernière a créé un grand cratère et produit une coulée pyroclastique jusqu'à 20 km du sommet, notamment dans les vallées Blongkeng, Woro et Gendol. Au cours des deux derniers siècles, ce volcan a fait des éruptions explosives tous les 8 à 15 ans, des éruptions plus violentes tous les 26 à 54 ans, et connu des périodes de repos qui n'ont pas dépassé 3,5 ans (Thouret, et al., 2000). La surveillance du volcan a commencé au début du XX<sup>ème</sup> siècle.

Tableau 6. Événements éruptifs inventoriés au Merapi

Ex = Explosions; PF = coulées pyroclastiques; ps = déferlantes pyroclastiques; D = croissance du dôme; LF = coulée de lave au sommet; DF (sec.) = coulées de débris (secondaires) ; Ph =activité phréatomagmatique.

Les dates indiquées en gras correspondent aux éruptions majeures.

No	Date	Type d'éruptions	Victimes	Dégâts
1.	1672	Ex, PF, DF	3000	
2.	1822-1823	Ex, PF, DF, D	100	8 villages détruits
3.	1832-1835	Ex, PF, LF, D	32	
4.	1837-1838	Ex, PF, LF, D		
5.	1846-1847	Ex, PF, LF, D		
6.	1849	Ex, PF, LF	centaines	
7.	1862-1864	Ex, PF, LF, D		
8.	<b>1871-1872</b>	Ex, TF, PF, D		
9.	1887-1889	Ex, PF, LF, D		
10.	<b>1902-1904</b>	Ex, D, LF, PF	16 victimes, 20 hospitalisés	
11.	1908-1913	Ex, D, L, PF		
12.	<b>1920-1921</b>	Ex PF, D, DF	35	1 village détruit
13.	1922	Ex, D, LF		
14.	<b>1930-1931</b>	Ex, PF, LF, D ps, DF	1369	13 villages détruits
15.	1934	Ex, PF, LF, D		100 personnes sans abri
16.	1943	Ex, PF, LF, D		1000 personnes affectées
17.	<b>1953-1956</b>	Ex, PF, Ph, LF, D	64	3 villages and 90 maisons détruits
18.	<b>1961</b>	Ex, PF, LF, ps, DF	6	8-10 villages détruits
19.	<b>1969</b>	Ex, PF, D, ps, sec. DF	1	793 maisons détruites
20.	1972-1975	Ex, PF, LF, D, sec. DF	9	
21.	1976	LF, PF, sec. DF	29	
22.	1984	Ex, PF, ph, D sec. DF		500-1000 personnes affectées
23.	1986	D, Ex, LF	1	
24.	1992	Ex, PF, D, DF		
25.	1994	Ex, PF, ps, DF	56	4452 personnes évacuées
26.	1997	Ex, PF, D	1	
27.	2006		2	22 253 personnes évacuées 1 zone touristique détruite
28.	<b>2010</b>		341 victimes, 368 hospitalisés	4 villages détruits, 367 villages évacués (1.3 millions d'habitants)

Source : (Thouret, et al., 2000)

Entre l'éruption de 1913 et celle de 2001, l'activité du Merapi a été essentiellement limitée aux vallées très peuplées des secteurs ouest et sud-ouest (Newhall, et al., 2000; Camus, et al., 2000). La Figure 13 montre la répartition des dépôts de coulées pyroclastiques entre 1911 et 2006 : seuls les versants orientaux n'ont pas été touchés par des écoulements pyroclastiques (PVMBG, 2009). Plusieurs études de risques montrent que ces secteurs ouest, sud et sud-ouest sont dangereux, mais

cependant les secteurs orientaux peuvent aussi être menacés (Figure 13) dans le cas d'une éruption très violente (Thouret, et al., 2000).

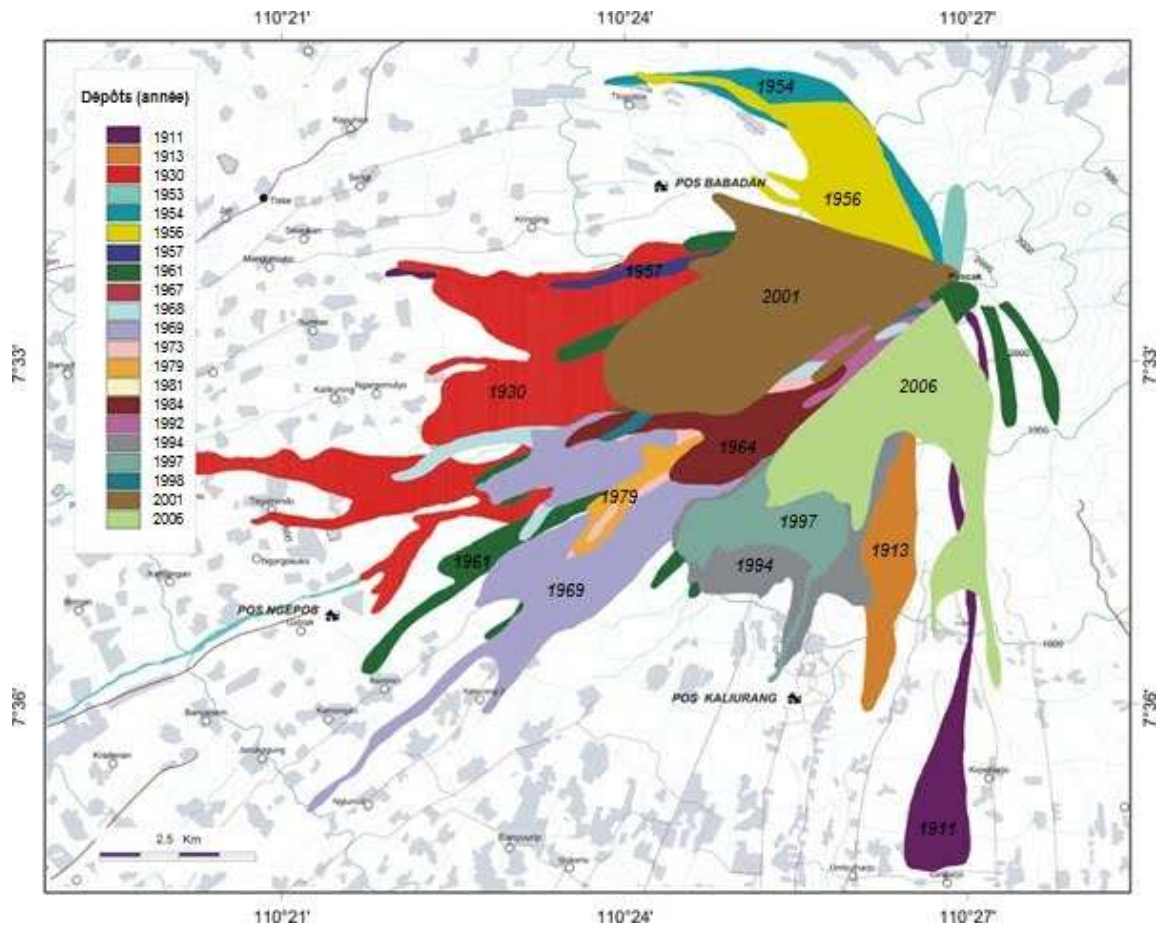


Figure 13. Répartition des dépôts pyroclastiques de 1911 à 2006 (PVMBG, 2009)

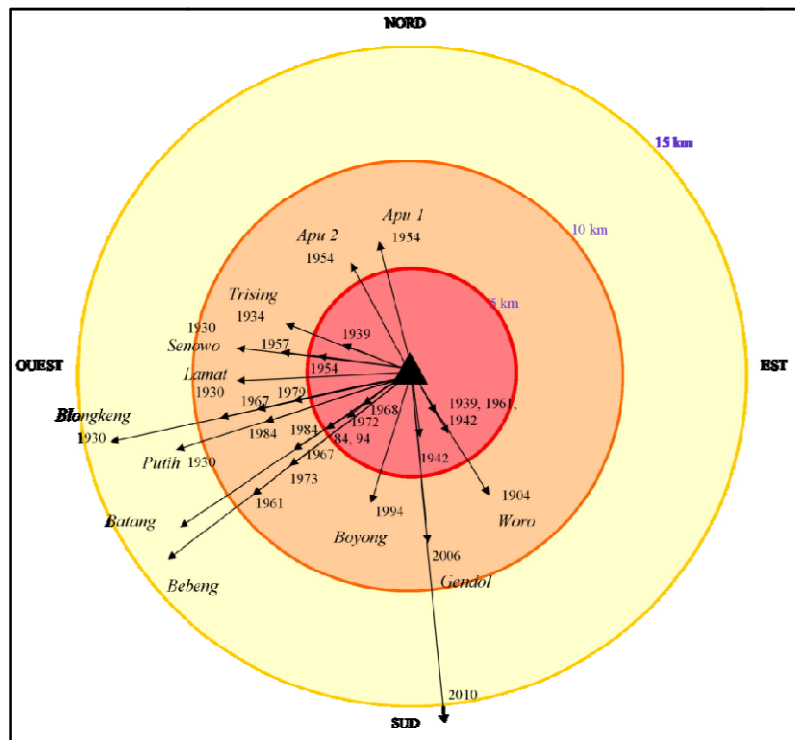


Figure 14. Directions et distances des coulées pyroclastiques (Thouret, et al., 2000; Purbo-Hadiwijoyo, et al., 1980)

## 1.2. Différents aléas au Merapi

L'une des caractéristiques éruptives du volcan Merapi récent est l'alternance de croissance et de destruction du dôme de lave (Voight, et al., 2000). Lorsque le dôme de lave croît au-delà de limites spécifiques liées à l'épaisseur et la pente, il est détruit par effondrement gravitaire. Le terme d'écoulement pyroclastique (Figure 15.a) englobe indistinctement deux grands types d'écoulement : les coulées et les déferlantes pyroclastiques.

- a) Les coulées pyroclastiques sont définies par Bardintzeff (1984) comme des nappes incandescentes constituées d'une émulsion dense et très chaude de solides, liquides et gaz, le gaz rend la vitesse de déplacement très rapide sur les flancs des volcans. Il y a trois types de coulées pyroclastiques au Merapi : (1) les coulées à blocs et à cendres liés à des effondrements de dôme, parfois connues sous le nom de « type Merapi », comme celles survenues lors des éruptions de 1994 et 2006; (2) les événements pyroclastiques d'explosion dirigée de type péléen ; (3) les événements pyroclastiques d'effondrement de colonne éruptive (type « Saint-Vincent ») comme lors de l'éruption paroxysmale de 1872.

b) Les déferlantes pyroclastiques sont des écoulements turbulents, moins concentrés, dans lesquels la fraction cendreuse et gazeuse prédomine. Ces écoulements échappent au contrôle topographique des vallées et franchissent les reliefs.

Cette classification est ancienne et l'on englobe désormais plus couramment les coulées et déferlantes pyroclastiques sous le terme commun de « PDCs ».

Les autres aléas au Merapi sont liés aux retombées aériennes de type projections balistiques dans un rayon proche du cratère ainsi que les pluies de cendres volcaniques sur un rayon pouvant excéder 20 km depuis le cratère (Damby, et al., 2012). Les projections balistiques ont lieu lors des phases explosives. Il peut s'agir de blocs lithiques arrachés à l'édifice ou de tephra (lapilli ou bombes) plus ou moins ponceux. Les cendres volcaniques sont des tephra de diamètre inférieur à 2 mm éjectés par le volcan (Figure 15.b) (Damby, et al., 2012). La grande quantité de cendres volcaniquesémise lors de l'éruption de 2010 (0,02 km<sup>2</sup>) a empêché le maintien de la circulation aérienne, causé l'effondrement de certains bâtiments, et provoqué des problèmes sanitaires (Picquout, 2013).



Figure 15. Aléas au Merapi a. coulées pyroclastiques et b. panache de cendres volcaniques lors de l'éruption de 2010(Kompas, 2010)

Les lahars représentent un autre aléa fréquent au Merapi. Ils se forment lorsque d'importantes pluies s'abattent sur des dépôts pyroclastiques peu consolidés (Figure 16). Un lahar prend la forme d'un écoulement à forte concentration sédimentaire, constitué de cendres et blocs d'origine volcanique, et d'eau de pluie, capable de s'écouler à vitesse rapide le long des réseaux hydrographiques. Le terme de lahars rassemble deux types d'écoulements : (1) les coulées de débris (concentration sédimentaire d'au moins 60 % du volume total) et (2) les écoulements hyper-concentrés (concentration sédimentaire de 2 à 60 % du volume total) (Lavigne, 1998). Plusieurs centaines de lahars ont provoqué 76 victimes et ont détruit des milliers de bâtiments depuis 1900



(Lavigne, 1998). L'éruption de 2010 a produit des dépôts d'environ  $36,3 \text{ m}^3$  de matériaux volcaniques (Charbonnier, et al., 2013). Depuis novembre 2010, des lahars ont eu lieu, mais avec une fréquence, une intensité et des conséquences beaucoup plus importantes que lors des éruptions précédentes : il y a eu 240 événements en une seule saison des pluies, d'octobre 2010 à mai 2011 (De Bélizal, et al., 2011; De Bélizal, 2012).



Figure 16. Coulées de débris ou lahars (Detik Foto, 2010)

### 1.3. Les éruptions fortement impactantes des deux dernières décennies

L'activité éruptive en 1993-1994 a commencé avec une phase importante d'extrusion de lave qui a formé le dôme de 1994, d'un volume de  $2,0 \times 10^6 - 2,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ . À partir de février 1994, des écroulements du dôme ont commencé à se produire vers le sud (Voight, et al., 2000). Le dôme est devenu instable après avoir atteint une masse critique et s'est effondré le 22 novembre 1994 (Ratdomopurbo, et al., 2000; Young, et al.). Cette éruption de VEI 2 a produit des coulées pyroclastiques de 7 km le long de la rivière Boyong (Wilson, et al., 2007). Les PDCs ont causé 69 morts et la destruction de maisons dans le village de Turgo.

En 2006, la croissance du dôme de lave a commencé en mars. Elle a été rapidement suivie par de nombreux éboulements et des coulées pyroclastiques entre mai et juin. Une première éruption s'est produite le 5 mai, suivie d'une seconde associée à un séisme de magnitude 6,5 sur l'échelle de Richter le 27 mai 2006 à Bantul, environ 30 km au sud du Merapi. Le 14 juin, l'augmentation du volume du dôme de lave a causé l'effondrement de l'ancien dôme de 1910 « GegerBuaya », suivi de PDCs dans la vallée de la Gendol jusqu'à 7 kilomètres du sommet.

L'éruption de 2010, qui a duré d'octobre à novembre, a été classée comme éruption péleenne de VEI 4. Avec un volume de dépôts émis supérieur à  $40 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Charbonnier, et al., 2013), cette éruption est considérée comme plus puissante que celle de 1872 (Surono, et al., 2012). Deux séries de PDCs, le 26 octobre vers 17h00 et la nuit du 4 au 5 novembre, ont causé 349 morts et des dommages aux villages, au bétail, aux plantations ainsi qu'aux forêts, notamment sur les pentes sud du volcan (Picquout, 2013). Les cendres volcaniques ont également entraîné des problèmes respiratoires (Damby, et al., 2012). Le risque de lahars a par ailleurs été accru à cause de l'accumulation des matériaux volcaniques dans les lits des rivières (De Bézilal, 2012).

Les manifestations de l'activité volcanique sont très variées en magnitude et peuvent varier au sein d'un même volcan. Ainsi, dans certaines circonstances, des changements brusques de comportement peuvent se produire tels que la transition d'une éruption effusive à une éruption explosive ou *vice versa*. Les études menées par Newhall et al. (2000), Voight et al. (2000) et Camus et al. (2000) montrent qu'il est probable que la période d'activité assez modérée du volcan au XXème siècle soit remplacée par des dynamiques plus explosives dans les décennies à venir. Afin de réduire les conséquences de ces éruptions, il est important de connaître les facteurs anthropiques qui doivent être pris en compte dans la gestion des crises et des catastrophes.

## 2. Les enjeux de la gestion des évacuations

Différents facteurs anthropiques peuvent augmenter les risques volcaniques, tels que les facteurs démographiques, économiques, et socioculturels. Entre le XIVème et le vingtième siècle, 61 éruptions ont tué plus de 7 000 personnes au Merapi (Lavigne, et al., 2000) (Tableau 6). En 1672, une éruption a causé la mort de 3 000 personnes. Les événements éruptifs de 1930-1931 et 1954, ont engendré respectivement 1400 et 54 victimes. En 1961, une coulée pyroclastique de 12 km de long a détruit plus de 8 villages. Le 22 novembre 1994, une éruption de VEI 2a provoqué des coulées pyroclastiques de 7 km dans la vallée de la Boyong (Wilson, et al., 2007; Abdurachman, et al., 2000). En raison de la nature imprévisible de l'effondrement du dôme et du manque de précurseurs à court terme (Voight, et al., 2000), 69 personnes ont été tuées par les coulées pyroclastiques en 1994. En mai 2006, une éruption de longue durée (deux mois et demi) a causé la mort de deux personnes, l'évacuation de 22 253 personnes, et la destruction d'une zone touristique.

Au Merapi, l'évacuation est devenue un des problèmes les plus délicats dans la gestion des crises et des catastrophes. Avant l'éruption de 2010, les évacuations ont été considérées comme un



sujet d'importance mineure dans les décisions politiques et scientifiques. L'idée était de minimiser le bouleversement dit « inutile » de la vie quotidienne des populations vivant sur les flancs du Merapi (Newhall, et al., 2000). La population au Merapi refuse d'ailleurs souvent de partir de villages pendant les périodes de crise même si le danger est imminent. S'il y a un ordre d'évacuation, les habitants retardent souvent leur décision de quitter leur village avant que la menace arrive. La gestion des évacuations de population au Merapi présente de nombreux enjeux et rencontre des obstacles développés dans les sections suivantes.

## 2.1. Cadre démographique

Le volcan Merapi se situe dans quatre *kabupaten* (ou district) : Sleman (au sud) ; Magelang (à l'ouest) ; Boyolali (au nord) et Klaten (à l'est) (Figure 17).

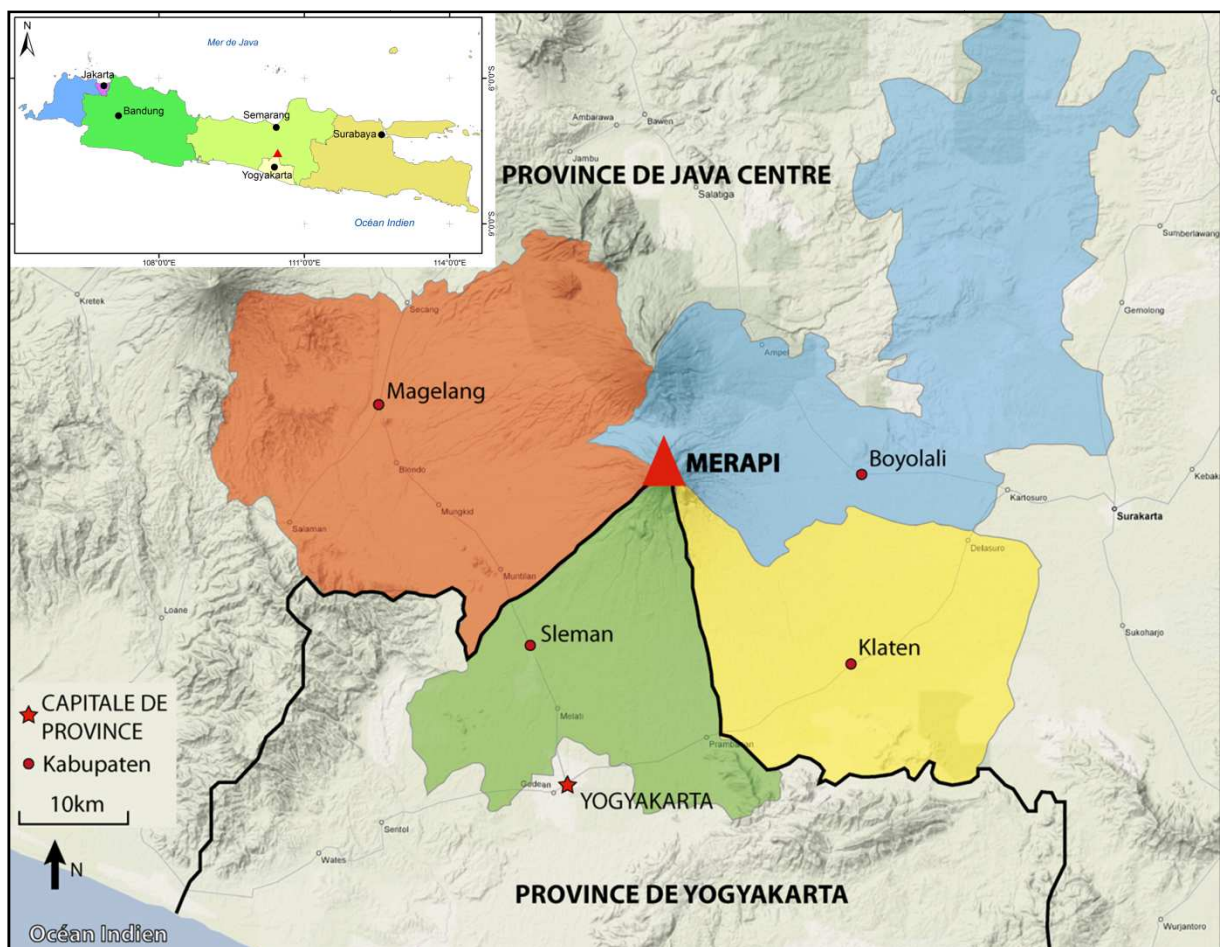


Figure 17. Carte du découpage administratif de la zone d'étude, modifiée d'après Picquout (2013).

Comme la plupart des régions de Java, les alentours du Merapi accueillent une forte densité de population, entre 935 et 1901 habitants au km<sup>2</sup> (BPS, 2008). Il y a eu une croissance démographique de plus de 3 % par an de 1976 à 1995 dans la zone la plus dangereuse (Thouret, et al., 2000), au-dessus de la moyenne nationale indonésienne (1,98 % pour les périodes de 1980-1990 et 1990-2000) (BPS, 2010). La densité de population au Merapi varie en fonction de la distance du sommet. En 1995, elle était de 424 habitants au km<sup>2</sup> en moyenne dans la zone de plus fort danger (KRB III)(Thouret, et al., 2000). Les pentes du Merapi sont densément habitées jusqu'à un rayon de 4 km autour du sommet et plus de 50000 personnes vivent dans cette zone KRBIII(BPS, 2010).La majorité des logements et infrastructures dans l'agglomération de Yogyakarta, située à 25 km au sud du volcan (Figure 18), ont été construits sur les dépôts d'écoulements pyroclastiques et de lahars issus des éruptions passées du Merapi.

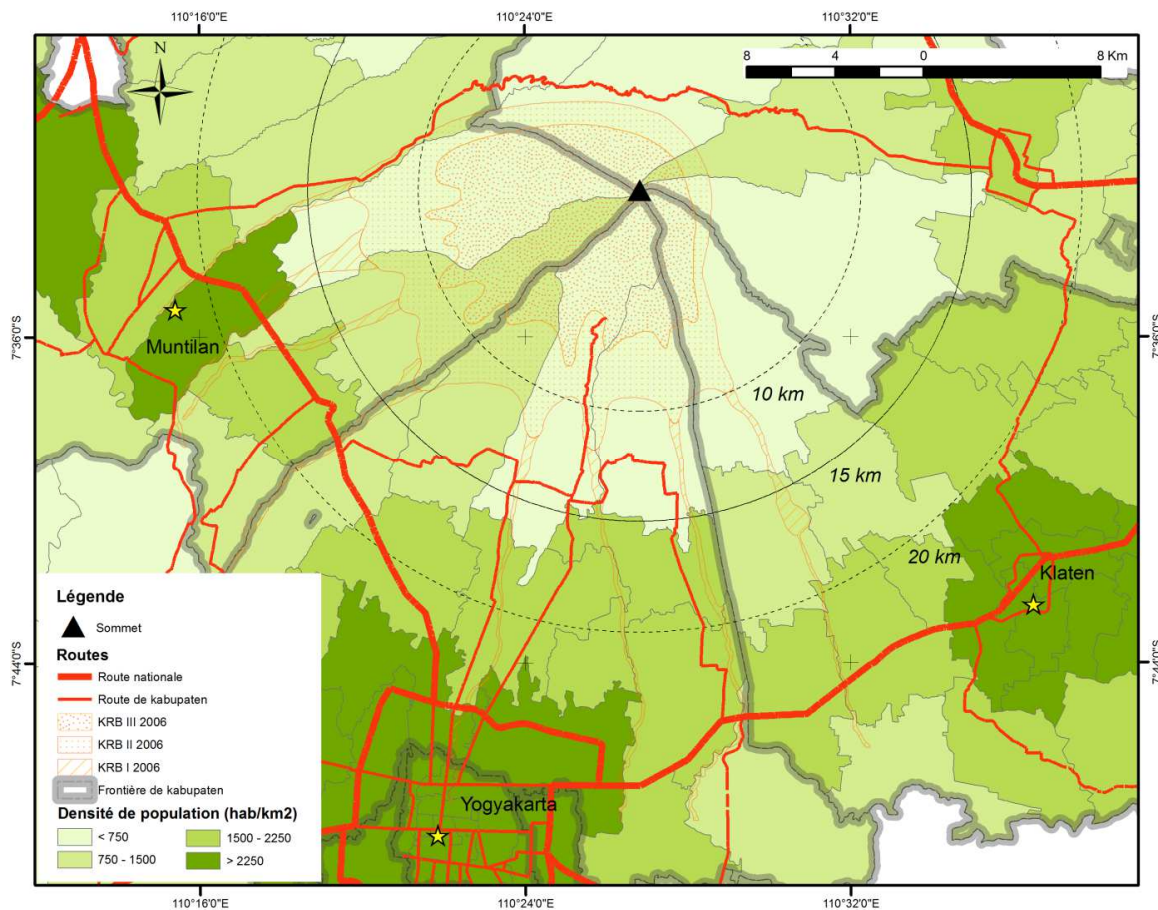


Figure 18. Carte de la densité de population à l'échelle des kecamatan(d'après les données statistiques de BPS, 2008).

La carte montre que les données statistiques officielles donnent une image très approximative de la répartition réelle de la population sur les flancs du volcan, qui semble peuplé jusqu'au sommet. De plus, la carte gomme la grande hétérogénéité spatiale de cette répartition à l'intérieur de chaque kecamatan. Avant le programme MIA VITA, il n'existait donc aucune carte de répartition de population à l'échelle fine.

L'importance du nombre d'habitants a certainement un effet sur la gestion des évacuations lors de l'éruption du Merapi. D'après les données des plans d'urgence de quatre *kabupaten*, il y a 50 067 habitants dans la zone de danger III (KRB III) (Klaten, 2009; Magelang, 2009; Sleman, 2009). Plus d'un million d'habitants vivent dans les trois zones de danger (Thouret, et al., 2000), avec un taux de croissance démographique dans les provinces de Java Centre et de Yogyakarta respectivement de 0,37% et 1,02%. Le nombre d'habitants qui devront être évacués lors des éruptions futures sera par conséquent beaucoup important. Il faut noter également que les risques liés au Merapi pourraient excéder ce qui est attendu. Les enregistrements géologiques montrent clairement qu'il existe un risque d'éruptions explosives majeures qui peuvent affecter non seulement les zones de danger existantes, mais également plusieurs kilomètres au-delà de ces zones (Newhall, et al., 2000).

En raison de l'effondrement de l'ancien dôme « GegerBuaya » (qui était une barrière topographique dans le secteur sud-est du cratère qui « protégeait » les flancs sud et sud-est du volcan) en 2006, les coulées pyroclastiques empruntent désormais un trajet différent par rapport aux éruptions précédentes (Melchior, 2010). Les éruptions de 2006 et de 2010 ont touché les flancs sud et sud-est du Merapi qui n'avaient pas été affectés par des coulées pyroclastiques depuis plus d'un siècle (Figure 13). Le problème devient d'autant plus compliqué puisque la tendance du développement urbain de ville de Yogyakarta se fait vers le nord (au *kabupaten* de Sleman), ce qui signifie qu'on se rapproche du Merapi. Cela signifie que le risque augmente puisqu'il y a de plus en plus d'enjeux humains dans les zones menacées par les aléas volcaniques.

## 2.2. Cadre socioéconomique

La majorité des habitants vivant sur ou près du volcan sont des Javanais qui considèrent que le lien entre l'environnement volcanique et leur vie sociale est très fort (Lavigne, et al., 2008). Le volcan est le lieu sacré qui leur offre de nombreuses ressources naturelles qu'ils peuvent utiliser afin de répondre à leurs besoins quotidiens. Ces ressources sont cruciales à la subsistance de la population. Comme sur d'autres volcans dans le monde, c'est la variété des ressources locales qui pousse les communautés à s'implanter (Kelman, et al., 2008). La majorité des habitants sur les flancs du Merapi sont agriculteurs, éleveurs de bovins (notamment de vaches laitières), ou exploitants de matériaux de construction (sable volcanique). Tous ces métiers sont dépendants des ressources naturelles locales. Afin de bien préparer la communauté pour faire face à une éruption, des bases de données socioéconomiques sont nécessaires. Pourtant, celles-ci ne sont disponibles qu'à l'échelle de la

commune, ce qui impose un travail plus profond de collecte de données socioéconomiques à l'échelle des villages afin d'évaluer la localisation des enjeux humains et des activités économiques.

Les habitants au Merapi gagnent en majorité entre un et trois euros par jour (10 000 - 30000 IDR) ; avec cette somme, ils peuvent subvenir aux besoins de leur famille, hormis en période de crise quand ils ne sont pas chez eux, mais dans des camps de déplacés. Le bétail sert de capital qui peut être vendu si l'argent est nécessaire, les habitants du Merapi n'ayant pas l'habitude d'épargner à la banque. En période de crise, la population est confrontée au dilemme suivant : choisir entre vendre le bétail à très bas prix ou le garder mais avec un coût d'entretien très élevé. Le problème majeur en cas d'éruption est que les éleveurs de bovins ne peuvent pas nourrir le bétail avec les herbes prises dans la forêt du Merapi, qui se situe en zone KRB III. Par ailleurs, l'absence de lieu de refuge pour le bétail oblige les habitants à faire des allers-retours tous les jours au village afin de traire les vaches et de les nourrir. Cette attitude est très risquée, le volcan pouvant exploser à tout moment lorsque le niveau d'alerte maximal est décrété.

### **2.3. Cadre socioculturel**

Dans les pays émergents, l'influence des croyances traditionnelles des communautés et leur manière de considérer le volcan sont fondamentales dans la prévention des risques. Ceci est montré dans les recherches menées sur la perception des risques volcaniques aux Philippines (Gaillard, et al., 2007), en Indonésie (Schlehe, 1997; Schlehe, 2007; Texier, 2007) ou au Mexique (Gavilanes-Ruiz, et al., 2009). Ces études soulèvent la question de l'influence des représentations et des perceptions du volcan sur la prise de décision des gens de s'éloigner de la source ou bien de rester dans la zone à risque.

Dans le cas du volcan Merapi, la présence de Marijan « le gardien des clés du volcan » (1927-2010), et l'énoncé de ses opinions déterminaient la décision des gens de rester ou non chez eux en période de crise. A la veille de l'éruption de 2010, Marijan était un agriculteur âgé vivant dans le village de Kinahrejo (également appelé Pelemsari), village situé le plus haut sur le flanc sud-est du volcan. Marijan avait été choisi en 1972 par le Sultan de Yogyakarta, Hamengkubuwono IX, pour devenir « gardien des clés » du Merapi et accomplir ainsi un rôle de médiateur spirituel entre le monde des hommes et celui des esprits. Il était connu et respecté par les communautés, notamment au sud du volcan, lesquelles croyaient en son pouvoir mythique lui permettant de s'adresser directement au Merapi et aux esprits situés dans le volcan.

Lors de l'éruption de 2006, il avait annoncé qu'il resterait dans son village malgré la menace imminente d'une éruption du Merapi et les demandes répétées de suivre l'ordre d'évacuation de la part du gouvernement local et du Sultan HamengkubuwonoX, gouverneur de la province de Yogyakarta. Pendant l'éruption de 2010, Marijan a également refusé d'évacuer mais a recommandé à tout le monde de s'enfuir loin du volcan, et demandé à sa famille et ses proches de le laisser seul. Une coulée pyroclastique ayant balayé le village de Kinahrejo, il a été tué avec les trente-quatre personnes qui étaient restées avec lui, le 26 octobre 2010. Une dizaine de ces victimes a été trouvée dans la maison de Marijan, certaines d'entre elles étant restées pour essayer de persuader Marijan d'évacuer les lieux.

Dans la croyance javanaise, le Merapi est le centre de la représentation du monde ou le panoptique : il symbolise à la fois la vie et la mort (Lavigne, et al., 2008; Dove, 2008) car il est l'origine de ressources naturelles et source de destruction. En raison de leur forte relation avec le Merapi, il n'est pas facile pour les communautés javanaises de quitter leur « terre » ou leurs villages, même en période de crise volcanique. La plupart des populations, notamment celles qui vivent à proximité du volcan, sont habituées aux effondrements de dôme qui engendrent les coulées pyroclastiques, qu'ils appellent « *wedhusgembel* ». Cependant, peu de personnes sont conscientes que leurs maisons, des écoles et d'autres infrastructures sont construites sur des dépôts issus d'éruptions explosives anciennes beaucoup plus violentes que les éruptions historiques (Newhall, et al., 2000).

#### **2.4. Cadre fonctionnel : les routes d'évacuation**

Le réseau routier joue un rôle important dans le processus d'évacuation. Au Merapi, il est globalement en mauvais état, soit parce que les routes ne sont pas asphaltées, soit parce qu'elles sont abîmées en raison du passage des camions transportant des matériaux volcaniques issus des carrières aménagées dans les dépôts de lahars. Malheureusement, les données sur la qualité des routes ne sont pas disponibles. Un travail de collecte de données est donc nécessaire pour pallier ce manque afin de pouvoir comprendre et modéliser les évacuations.

#### **2.5. Sécurisation de la zone abandonnée**

La sécurité des zones abandonnées lors d'une éruption volcanique doit également être prise en compte car les habitants ne peuvent pas apporter toutes leurs affaires pendant l'évacuation. Ils



s'inquiètent pour leur bétail et les biens restés dans leurs maisons. Parfois les gens veulent être évacués seulement s'il y a une garantie de sécurité pour leurs biens. Par conséquent, des précautions adéquates pour éviter la présence de personnes non autorisées dans la zone évacuée doivent être prises. Cela peut être effectué par exemple en contrôlant l'entrée principale de villages, soit par la police, l'armée ou les associations communautaires ; ou en fournissant un abri temporaire pour le bétail. Cette dernière solution n'est pas facile à réaliser en raison du manque d'espace pour accueillir le bétail, comme l'a expliqué Hadi Sumarto, chef de la Protection Sociale de la commune de Kepuharjo lors de l'éruption du Merapi en 2006 (Detikcom, 2006).

### 3. Politique de prévention des risques et gestion des crises au Merapi

#### 3.1. Stratégie de réduction des risques

La série de catastrophes subies par l'Indonésie, en particulier en 2004 (tsunami à Aceh) et 2006 (tremblement de terre à Yogyakarta), a entraîné une prise de conscience de l'exposition aux aléas naturels. La mise en œuvre de la réduction des risques en Indonésie s'inscrit dans le cadre de la diminution des risques de catastrophes au niveau mondial (résolution du Conseil Economique et Social des Nations Unies No. 63 1993, résolution des Nations Unies No. 56/195 du 21 décembre 2001, stratégie de Yokohama et cadre d'action de Hyogo en 2005) et au niveau régional (plan d'action de Pékin).

Les gouvernements sont principalement responsables de la gestion des catastrophes et la gestion des crises est fondée sur une organisation hiérarchique descendante (*top-down*). La plupart des organisations de gestion des catastrophes en Indonésie suivent la structure gouvernementale et ont des représentants aux niveaux provincial et du *kabupaten* (Figure 19). Avant la promulgation de la loi 24-de 2007 sur la gestion des catastrophes, la mise en place d'actions de gestion des catastrophes en Indonésie n'était pas efficace. Beaucoup d'acteurs ou institutions ne connaissaient pas leurs rôles respectifs. Certains organismes gouvernementaux effectuaient des tâches similaires, produisant des chevauchements et des redondances dans les actions. Ainsi, il a été nécessaire de reformuler les procédures à suivre pour la gestion des risques et des crises sur le territoire indonésien.

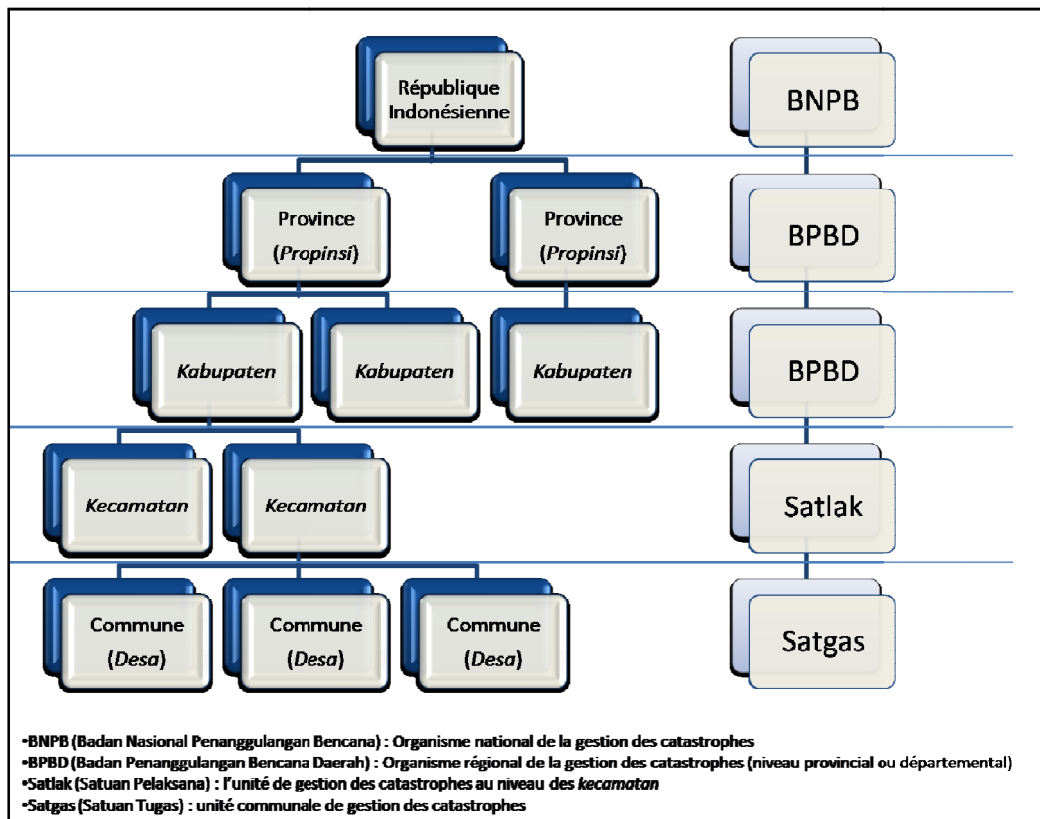


Figure 19. Organismes indonésiens responsables de la gestion des catastrophes aux différentes échelles administratives

La politique de gestion des catastrophes en Indonésie a pris une nouvelle dimension après la promulgation de la loi 24-2007. Ce changement est caractérisé par la mise en place du BNPB (l'organisme national de la gestion des catastrophes) depuis 2008, soumis au règlement du Président de la République d'Indonésie No. 8 (Figure 20). Dans la mise en œuvre de la gestion des catastrophes, le BNPB ne travaille pas individuellement, mais en coopération avec divers ministères, organismes et institutions. Pour la recherche et le sauvetage des victimes de catastrophes, le BNPB collabore avec l'Armée Nationale, la Police Nationale, Basarnas (recherche et sauvetage nationaux), et PMI (la Croix-Rouge indonésienne). Afin de gérer les personnes déplacées (les réfugiés), le BNPB coopère avec le Ministère des Affaires Sociales. Pour la cartographie des zones à risque, le BNPB travaille avec le BIG (Bureau national des informations spatiales) et les ministères et organismes chargés de faire face à des risques spécifiques. Dans l'organisation de système d'alerte en cas de catastrophe, le BNPB collabore avec le Ministère de l'Energie et des Ressources Minérales et BMKG (Agence de météorologie, climatologie et géophysique) pour les risques géologiques, le Ministère des Travaux Publics, le Ministère de l'Agriculture, le Ministère des Forêts, le LAPAN (l'agence nationale de l'espace et les compagnies aériennes) pour les risques hydrométéorologiques, soutenus par les

études réalisées par le Ministère de la Recherche et de la Technologie, LIPI (l'Institut des Sciences) et les universités à travers l'Indonésie. Le BNPB travaille aussi avec le Ministère de l'Education Nationale, le Ministère des Affaires Religieuses et le Ministère de Communication et des Médias pour l'éducation à la réduction des risques.

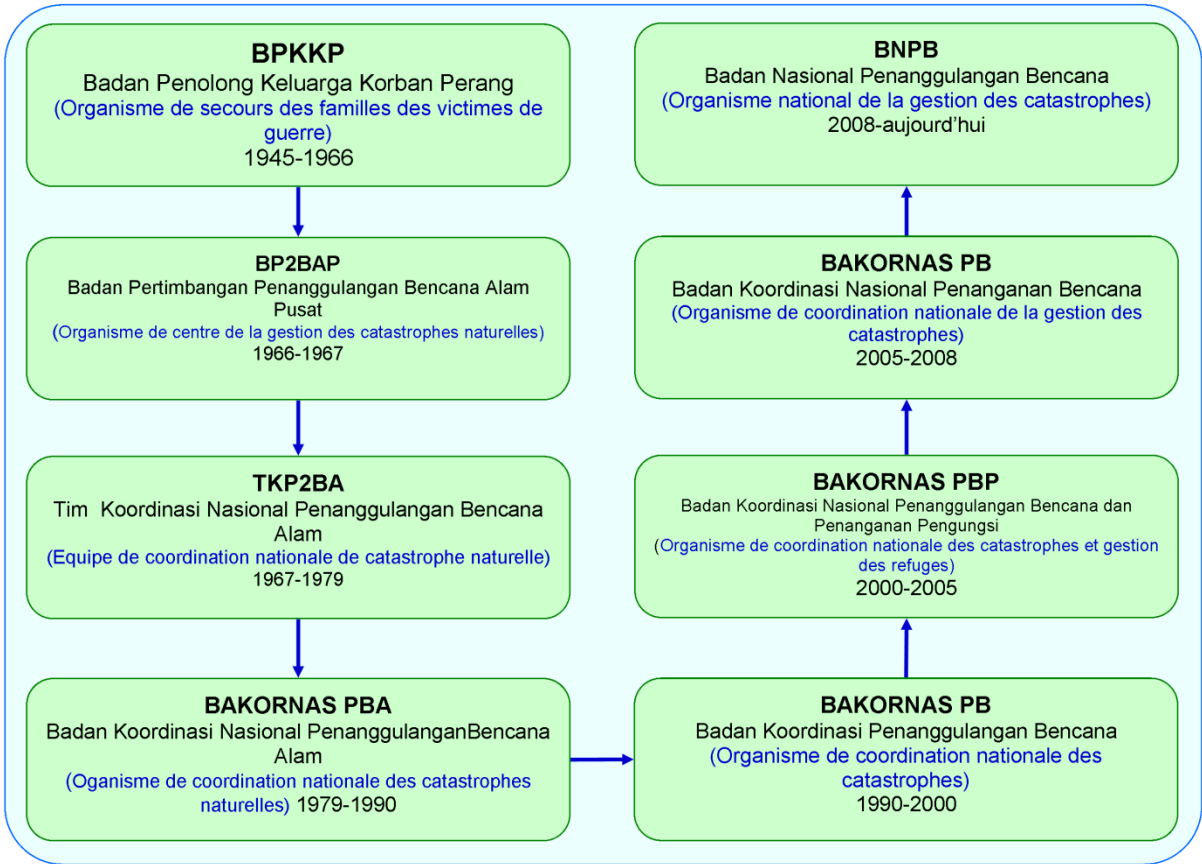


Figure 20. Organismes de coordination nationale de la gestion des catastrophes en Indonésie de 1945 à nos jours.

A l'échelle régionale (niveaux provincial et des *kabupaten*), l'organisme chargé de la gestion des catastrophes est le BPBD (agence régionale de la gestion des catastrophes). Il a été mis en place par le Décret du Responsable du BNPB No. 3 et l'Arrêté du Ministre de l'Intérieur No. 66 en 2008. Le BPBD est responsable de la formulation des politiques liées aux catastrophes et aux personnes déplacées.

Un forum national pour la réduction des risques en Indonésie a également été lancé le 20 novembre 2009, nommé Planas PRB (plateforme pour la réduction des risques de catastrophes). Les membres représentés dans cette plateforme sont les établissements de recherche et



d'enseignement, la presse, le secteur privé, la société civile, le gouvernement, la Croix-Rouge indonésienne, les institutions professionnelles, etc. Ce forum, coordonné par le BNPB, a pour but de synchroniser les politiques, programmes et activités de réduction des risques de ces différents organismes en leur permettant de se concerter. A l'image du Planas PRB, il existe plusieurs autres plateformes locales ou sectorielles, tel que le Forum Merapi. Il a été mis en place pour faciliter la coopération dans la gestion du risque volcanique au niveau inter-*kabupaten*, sur les questions relatives à la planification des risques, à l'environnement, et à la prise en compte dans les politiques de gestion des aspects socioculturels et socioéconomiques.

### 3.2. Système de surveillance au Merapi

En Indonésie, l'institution chargée de surveiller en continu l'activité du volcan Merapi est le BPPTK<sup>3</sup> qui se situe à Yogyakarta. Cette institution, intégrée dans la structure du CVGHM<sup>4</sup> (Center of Volcanology and Geological Hazard Mitigation), a établi six postes d'observation à Kaliurang, Ngepos, Babadan, Jrahah, Krinjing et Selo (Figure 21). Le Merapi a été placé sous surveillance dès l'époque coloniale hollandaise en 1924 avec la première installation de sismographe, suivie de la construction d'un observatoire à Kaliurang en 1952 (Voight, et al., 2000; Texier, 2007). Les volcanologues indonésiens et différentes équipes de chercheurs étrangers ont mis en place divers outils de surveillance (Voight, et al., 2000) : (a) un réseau sismique comprenant des stations à large bande et des réseaux acoustiques (Ratdomopurbo, et al., 2000; Wassermann, et al., 2001) ; (b) des mesures de déformation (Rebscher, et al., 2000) ; (c) des observatoires magnétiques (Zlotnicki, et al., 2000) ; (d) la surveillance de la composition des gaz et de la température (Zimmer, et al., 2003); (e) des mesures de potentiel (Friedel, et al., 2004); (f) la surveillance des lahars (Lavigne, et al., 2000); (g) différentes stations météorologiques, et un système vidéo pour l'observation visuelle du dôme (Hort, et al., 2006). Cependant, ce système de surveillance ne permet pas jusqu'à présent d'évaluer en permanence les processus physiques liés aux instabilités du dôme (Hort, et al., 2006).

La carte de danger est destinée à estimer les zones susceptibles d'être touchées par les aléas volcaniques (Suryo, et al., 1985). Cette carte détaille les types d'aléas volcaniques, les zones à risque, les routes d'évacuation, et la répartition des postes de secours. La carte a été utilisée par les autorités locales pour l'élaboration de la planification d'urgence dans chaque *kabupaten*. Cette carte a été

---

<sup>3</sup>*Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian* (Bureau de recherche et de développement sur les techniques de volcanologie), situé à Yogyakarta, sous l'autorité du CVGHM.

<sup>4</sup>Centre de volcanologie et d'atténuation des aléas géologiques, situé à Bandung, sous l'autorité du Ministère de l'Energie et des Ressources.

réalisée sur la base d'études géologiques et géomorphologiques (Sayudi, et al., 2010). Trois zones de danger ont été définies, de KRB III - celle de plus fort danger - à KRB I - concernée uniquement par les lahars -). Depuis l'éruption de 2010, des modifications y ont été apportées, notamment dans la vallée de Gendol sur le flanc sud du Merapi (Figure 21).

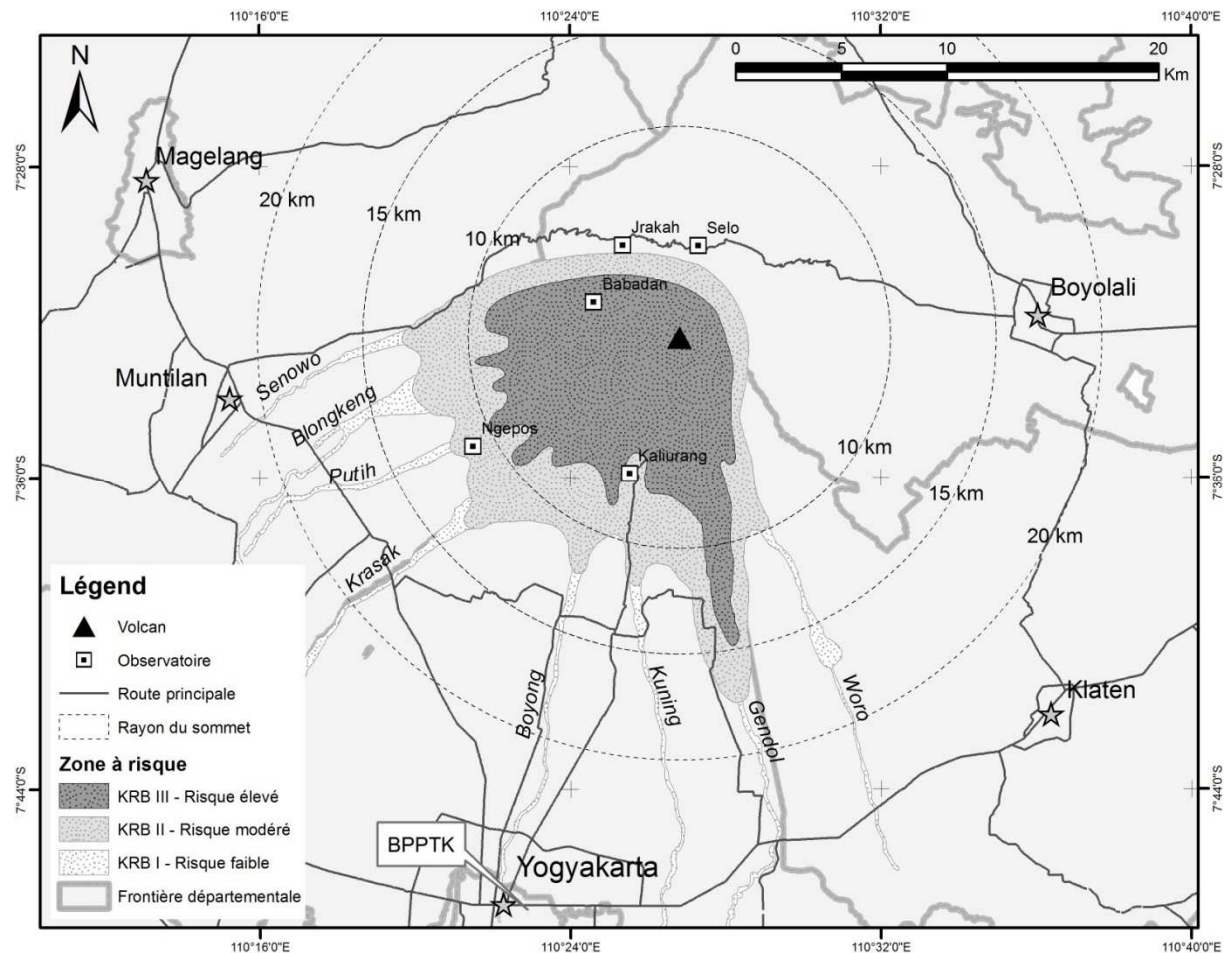


Figure 21. Répartition spatiale des observatoires au Merapi et zones de danger officielles depuis l'éruption de 2010.

La zone de danger III (KRB III-zone rouge) est la zone située à proximité de la source de danger, fréquemment touchée par des coulées pyroclastiques, coulées de lave et retombées. La limite de la zone III est fondée sur l'histoire de l'activité depuis des années 1900: le type d'éruption volcanique (vulcanien ou effondrements de dôme de petit volume), les changements morphologiques autour du sommet, la structure géologique du sommet et la position du dôme liée aux activités actuelles. L'éruption de 2006 a créé une ouverture vers le sud permettant l'écoulement des coulées pyroclastiques dans la direction de la vallée Gendol. L'éruption de 2010 est classée comme explosive

avec une distribution des coulées pyroclastiques dominante vers le sud (vallée de la Gendol). Une redéfinition des zones à risques a été effectuée en décembre 2010, après l'éruption (Figure 22.b).

La zone de danger II (KRB II-zone rose) comporte deux entités : une zone affectée par les coulées pyroclastiques, les coulées de lave ou les coulées de boue, et une zone affectée par les matériaux éjectés tels que les cendres et les bombes volcaniques. Lors de l'éruption de 2010, des matériaux entre 2 et 4 centimètres de diamètre ont été dispersés jusqu'à 10 km du sommet. Le CVGHM a donc agrandi le rayon de la zone à risque jusqu'à cette distance (ligne pointillée rouge sur la Figure 22).

La zone de danger I (KRB I-zone jaune) est la zone potentiellement affectée par les lahars ou les inondations.

Pendant une éruption, ces trois zones peuvent être touchées par les chutes de cendres et tephra (Sayudi, et al., 2010). Toutefois, la carte de danger du Merapi ne peut être utilisée que si : (i) l'éruption se produit dans le cratère central ; (ii) la colonne d'éruption est verticale ; (iii) il n'y a pas de formation de caldeira ; et, (iv) il n'y a pas de changement morphologique majeur au sommet du volcan (Sayudi, et al., 2010).

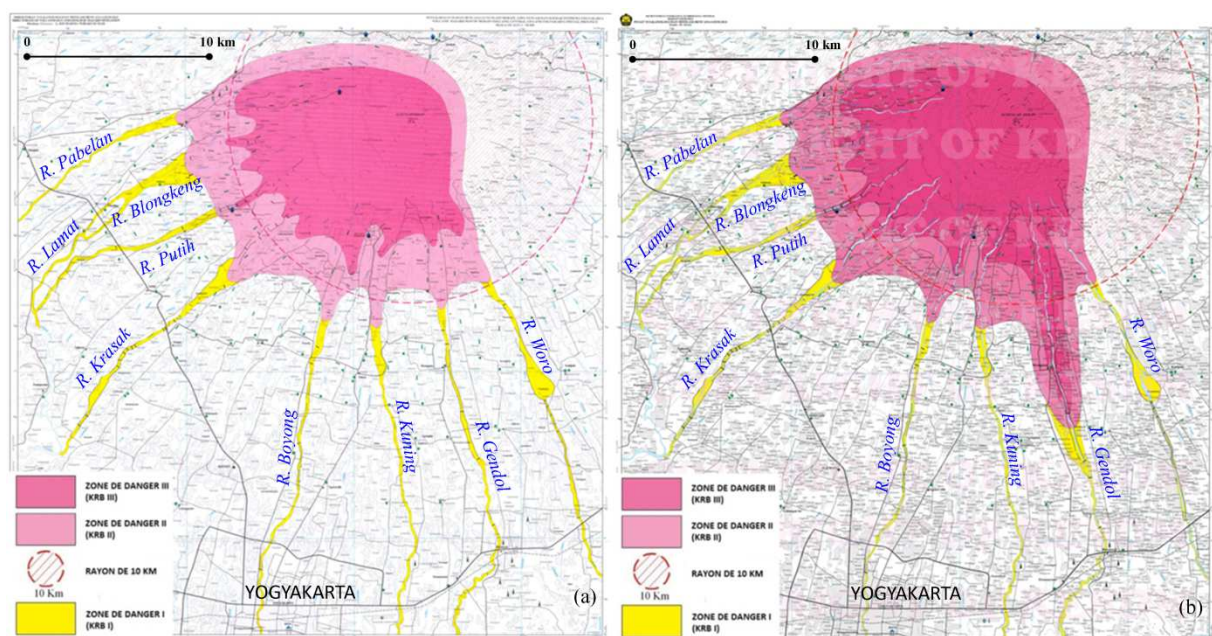


Figure 22. Cartes des zones de danger en 2006 (a) et 2010 (b)

### 3.3. Système d'alerte précoce au Merapi

Le système d'alerte précoce au Merapi est le même que celui des autres volcans en Indonésie. Il est fondé sur l'analyse des observations instrumentales et visuelles. Il comprend quatre niveaux d'alerte qui correspondent à des états d'activité croissante du volcan. Ces quatre niveaux, définis par un code couleur, sont utilisés comme la base de l'alerte (Sayudi, et al., 2010). Chaque niveau correspond à des implications opérationnelles spécifiques par zones de danger (KRB III, II, I ; Figure 23).



Figure 23. Niveaux d'activité du Merapi et conséquences pour la population.

Les informations sur l'état et la morphologie du volcan relevées dans chaque poste de surveillance sont centralisées en temps réel au bureau de volcanologie à Yogyakarta. Le niveau d'alerte est diffusé au public par le BNPB et les gouvernements locaux à l'échelle des *kabupaten*. Cependant, si le danger est imminent, le bureau de volcanologie à Yogyakarta peut directement utiliser des sirènes pour déclencher les évacuations (Figure 24). Les sirènes ont été installées à proximité des villages les plus vulnérables, près des vallées principales comme la Boyong, la Gendol, et la Putih. En cas d'urgence (niveaux III et IV), les chefs de *kabupaten* et le BNPB donnent l'ordre d'évacuation au public. Au cours des crises de 2006 et 2010, les informations concernant les activités volcaniques ont été également diffusées directement par les journalistes. Ainsi, une fois que les volcanologues ont des informations fiables, le responsable du CVGHM peut les diffuser directement au public via les médias, notamment télévisés et radiophoniques.

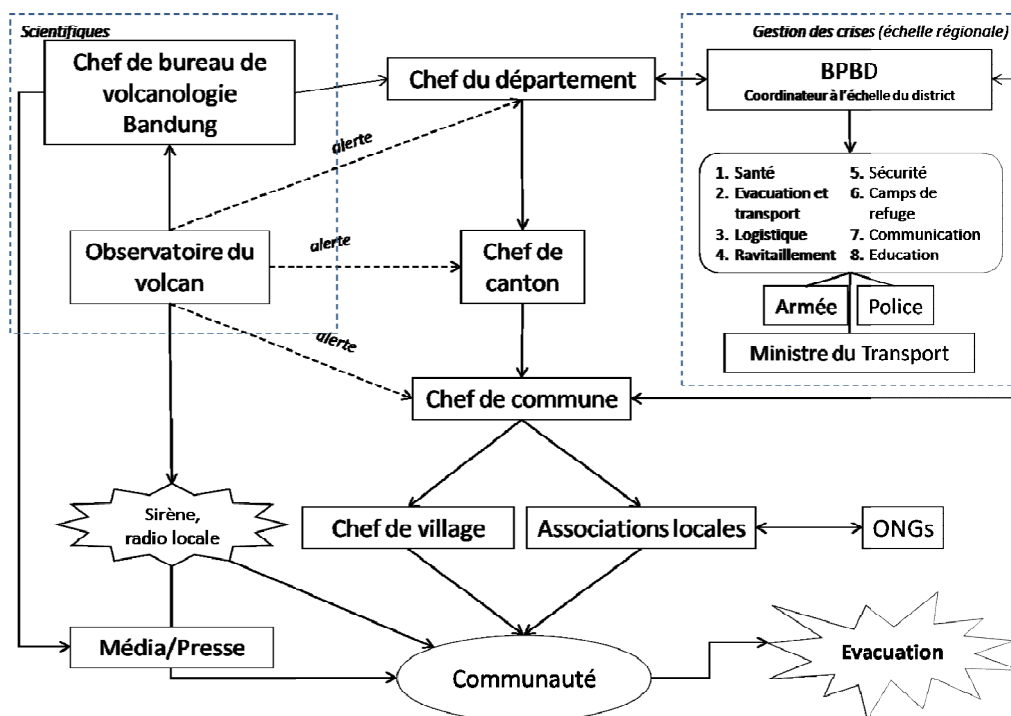


Figure 24. Diffusion de l'alerte et gestion des crises volcaniques au niveau des kabupaten

### 3.4. Plan d'urgence pour une crise d'origine volcanique au Merapi

Il y a au moins sept institutions formelles et plusieurs organisations non gouvernementales qui travaillent ensemble sur la gestion des crises volcaniques dans chaque *kabupaten* : le BPBD, leBPPTK, l'Armée, la Police, le Bureau de la Santé (DinKes), le Bureau des Travaux Publics (Dinas

PU/Kimpraswil), et le Bureau des Affaires Sociales (DinSos). Le BPBD est en charge de la coordination des activités liées aux crises avec toutes les institutions concernées, par exemple pour l'évacuation des populations, la construction d'abris, l'approvisionnement alimentaire, la logistique et les installations sanitaires. Les fonctions de chaque institution sont définies sur les plans d'urgence (*contingency planning*), créés dans chaque *kabupaten* par le BPBD, le BPPTK et l'UNICEF en 2009. Ces plans ont pour objectif d'établir des modalités et des procédures pour faire face à une crise potentielle ou une urgence. Ils incluent l'élaboration de scénarios, la détermination des objectifs de chaque acteur dans la gestion des crises, le traitement des informations, et les mesures opérationnelles à déployer par acteur (Vidiarina, 2010).

Les scénarios, fournis par le BPPTK, peuvent varier selon les aléas volcaniques et les caractéristiques régionales de chaque *kabupaten* (Tableau 7). Dans le plan d'urgence, les gouvernements locaux se concentrent sur la réduction du nombre de victimes, la gestion communautaire des crises, la phase de pré-catastrophe, l'intégration des mesures d'atténuation physique et non physique, la protection des groupes les plus vulnérables, la coordination entre les parties prenantes (Klaten, 2009; Magelang, 2009 ; Sleman, 2009). La gestion des crises dans chaque *kabupaten* est effectuée dans le cadre d'une planification sectorielle et interdépendante qui comprend les secteurs de la gestion de l'information, de la santé, de l'évacuation et du transport, de la logistique, du ravitaillement, de la sécurité, du refuge, de la communication, et de l'éducation. Pour chaque secteur, toutes les activités prévues sont détaillées en indiquant les acteurs impliqués et leurs rôles.

Tableau 7. Plans d'urgence de 2009 de chaque *kabupaten*

<i>Kabupaten</i>	Scénario d'éruption	Population affectée	Durée prévue pour le refuge
Sleman	Coulées pyroclastiques de 12 km de long dans la vallée de Gendol et coulées pyroclastiques de 7-8 km sur les vallées de Kuning, Boyong, Bedog, Krasak	12 660	4 mois
Magelang	Coulées pyroclastiques de 15 km dans la Bebung, 7-8 km dans la Putih et la Blongkeng, et 7 km dans la Pabelan	32 987	2 mois
Klaten	Coulées pyroclastiques de 10 km vers le sud-est	4420	2 mois

Sources : Sleman, 2009 ; Magelang, 2009 ; Boyolali, 2009



Le secteur de l'évacuation et du transport se concentre cependant que sur le nombre de personnels disponibles et requis, et le nombre de moyens de transport locaux et officiels. Les procédures pour effectuer une évacuation dans chaque *kabupaten* ne sont pas détaillées. De plus, il n'y a pas de carte de répartition de la population, ni de données socio-économiques à l'échelle des villages permettant d'analyser les besoins et capacités pour faire face à la crise au niveau local. Les problèmes de préparation aux évacuations lors des crises volcaniques du Merapi ne résident pas uniquement dans les faiblesses de la planification : ils sont également liés aux aspects démographiques, socioéconomiques ou bien socioculturels expliqués dans le sous-chapitre précédent (§cf. 2 p. 56).

### **3.5. Institutions locales dans le contexte de la gestion des évacuations**

Le niveau local est à la fois le plus important et paradoxalement parfois le moins performant de la gestion de crise (Voight, 1990). En Indonésie, les organismes administratifs de la commune (*desa*) et du village (*dusun*) ont une relation directe avec la communauté locale. Les conseils ou les critiques sont habituellement adressés directement par la société aux chefs de commune ou de village, puis transférés à l'autorité supérieure. Ainsi, la commune et le village sont les fers de lance de la mise en œuvre des programmes liés aux catastrophes. Pendant la phase d'évacuation, le rôle des maires et des chefs de village est très important avec l'aide de l'Armée, de la Police, des ONGs et des bénévoles qui préparent l'évacuation à l'échelle communale (Figure 24). Cependant il y a encore peu de communes qui possèdent une planification bien détaillée des évacuations au Merapi.

### **Conclusion : problématique et objectifs de la thèse**

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une nécessité d'évacuation des populations afin de réduire les risques volcaniques. Elle vise aussi à mettre en évidence des facteurs nécessaires en vue d'une gestion plus efficace des évacuations. Le Merapi se présente comme un choix tout à fait adapté à ce travail pour plusieurs raisons :

- Les flancs de ce volcan, dont l'activité est très soutenue sont densément peuplés. La gestion des évacuations constitue donc un challenge ;

- L'éruption de 2010, survenue au cours de cette recherche, a fourni une étude de cas pour comprendre et analyser la gestion des évacuations de population lors d'une crise d'origine volcanique ;
- Cette recherche s'inscrit dans un programme de coopération international intitulé *Mitigate and Assess Risk from Volcano Impact on Terrain and Human Activities* ayant pour but de développer des outils et des méthodologies intégrées pour réduire les risques volcaniques.

Commencée en 2009, cette recherche a pu profiter de la plus grande éruption du Merapi depuis 1872. Cela nous a permis de suivre la chronologie de la crise (avant, pendant et après) et d'obtenir des données de première main concernant les évacuations. L'évacuation des populations est un des moyens efficaces pour réduire le nombre de victimes lors d'une éruption dans une région très peuplée comme au Merapi. Toutefois, en 2010 des plans d'évacuation officiels n'étaient disponibles qu'à l'échelle des *kabupaten*, et encore aujourd'hui peu de communes disposent d'une planification locale des évacuations.

Au niveau scientifique, plusieurs études ont été menées sur la perception du risque et la relation entre les réponses communautaires et l'évacuation au Merapi (Lavigne, et al., 2008; Texier, 2007; Dove, 2008), mais, il y a encore peu d'études concentrées sur les évacuations au Merapi. Une thèse a été réalisée par Sagala (2009) sur la décision d'évacuation au niveau familial mais seulement dans le flanc sud du volcan. Une étude sur le comportement des populations de Magelang en réponse à l'éruption du Merapi a également été menée par Sofian (2012). Or, un travail sur l'évacuation des populations au Merapi aux échelles régionale (volcan) et locale (commune/village) est nécessaire.

En Indonésie, et en particulier au Merapi, une gestion efficace des évacuations est considérée comme le principal facteur du nombre limité de victimes des éruptions volcaniques depuis 1930. Cependant, ces évacuations ont toutes concerné des éruptions de faible magnitude et de période de retour élevée (moins d'un siècle). L'éruption de 2010, la plus forte du volcan depuis plus de 130 ans, fut ainsi l'occasion de tester la réelle efficacité de la gestion de crise pour une éruption beaucoup plus puissante que celles restées gravées dans les mémoires. A l'échelle du volcan, nous avons développé une base de données spatiale au niveau des villages, afin de modéliser une évacuation des populations lors d'une crise d'origine volcanique et d'analyser les facteurs socioéconomiques, socioculturels, fonctionnels, etc. qui régissent la vie des populations du Merapi. Nous avons également analysé les réponses institutionnelles de gestion des crises, évalué la pertinence des plans d'urgence existant au niveau des *kabupaten* et comparé la gestion de crise théorique qui y est décrite



avec la situation réelle observée lors une crise éruptive de 2010. A l'échelle locale, nous avons identifié les facteurs déterminants dans la gestion des évacuations et analysé les réponses communautaires face aux crises volcaniques.

Ces démarches permettent ainsi de mettre en évidence les lacunes de la gestion des évacuations lors des crises volcaniques en Indonésie, et de proposer des améliorations pour une meilleure préparation aux niveaux institutionnel et communautaire.



# C

## haptre 3. Méthodologie générale

Ce chapitre expose les méthodes utilisées au cours de cette thèse. Une première partie aborde l'étude de la gestion des évacuations à l'échelle du volcan. Une seconde partie propose une méthode sur la stratégie de gestion des évacuations de population lors d'une crise d'origine volcanique au niveau local.

Tableau 8. Synthèse des données collectées

Périodes	Pré-crise		Syn.-Crise	Post-Crise	
Dates de mission	Mai - Août 2010		Nov. 2010	Déc. 2010-Mars 2011 Juillet-Août 2011	
Collecte des données	Quantitative	Echelle du volcan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recueil de données socioéconomiques à l'échelle des villages (enquête PODUS)</li> <li>Collecte de données sur l'état des routes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Données secondaires sur la surveillance du volcan par CVGHM</li> <li>Données secondaires sur les personnes déplacées au niveau des <i>kabupaten</i></li> <li>Questionnaire auprès des personnes déplacées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enquête sur les impacts de l'éruption de 2010 à l'échelle des villages (SURDADU)</li> <li>Amélioration des données sur l'état des routes</li> </ul>
		Echelle locale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Questionnaire auprès des habitants sur les connaissances collectives, stratégies d'adaptations, expériences de la crise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Données secondaires sur les personnes déplacées à l'échelle des communes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enquête sur les routes choisies pour l'évacuation lors de la crise de 2010</li> </ul>
	Qualitative	Echelle du volcan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Données secondaires sur la gestion de crise et des évacuations lors des précédentes éruptions</li> <li>Entretiens avec les personnes clés de la gestion des crises volcaniques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recueil et analyse du contenu médiatique (journaux et télévisions - locaux, nationaux, internationaux)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entretiens avec les personnes clés de la gestion de crise et des évacuations</li> </ul>
		Echelle locale	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Focus group discussions</i> : commune de Ngargomulyo et village de Turgo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entretiens avec les personnes clés sur l'évacuation et les refuges lors de la crise de 2010</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maquette participative trois dimensions (P3DM)</li> <li><i>Focus group discussions</i> : commune de Ngargomulyo en exploitant la maquette</li> </ul>
Post-2011, toutes échelles confondues					
Traitement des données	Traitement des bases de données statistiques (PODUS, personnes déplacées, questionnaires, SURDADU)				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intégration des données statistiques dans un Système d'Information Géographique</li> <li>- Modélisation des évacuations en utilisant <i>RouteFinder-MapInfo</i></li> </ul>				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse des résultats de discussion de groupe, entretiens avec les personnes clés</li> <li>- Analyse des données secondaires liées à la gestion de la crise et des évacuations</li> </ul>				

## 1. Etude des évacuations de population à l'échelle du volcan

### 1.1. Choix de l'approche et de la méthode

À l'échelle régionale, la planification des évacuations est l'un des principaux moyens de faire face aux crises volcaniques. Nous choisissons donc de nous y intéresser au Merapi. Dans un premier temps, une analyse spatiale des facteurs de vulnérabilité et des capacités est effectuée en prenant en compte des facteurs tels que le nombre d'habitants à évacuer, le nombre de handicapés, les moyens de transport disponibles, le nombre de camps de déplacés ainsi que leur capacité d'accueil, etc. Cette étape est très importante pour évaluer l'assistance nécessaire lors d'une évacuation. En outre, il est essentiel d'analyser les éruptions passées et crises précédentes par des retours d'expériences pour savoir ce qui doit être amélioré et renforcé afin de faire face aux crises dans le futur. Une analyse est ainsi réalisée sur les déplacements lors de l'éruption de 2010 au Merapi et sur les modalités de gestion de la crise. Afin de pouvoir répondre à la question fondamentale de l'évacuation, notamment en termes de temps nécessaire pour déplacer les populations des zones menacées aux zones sûres, nous effectuons dans un dernier temps une modélisation des déplacements en utilisant le logiciel *RouteFinder* sous *MapInfo*.

### 1.2. Acquisition de données concernant la vulnérabilité des populations et les capacités pour faire face aux crises volcaniques

La collecte des données PODUS et Surdadu, relatives aux facteurs de vulnérabilité et aux capacités, a été réalisée au sein du projet de MIAVITA en collaboration avec A. Picquout (2013) qui a consacré une thèse de doctorat sur les impacts géographiques de l'éruption de 2010.

#### 1.2.1. PODUS (*Potensi Dusun*)

En général, les données socioéconomiques officielles les plus fines en Indonésie ne sont disponibles qu'à l'échelle des communes et regroupées dans les PODES « *potensidesa* », en français « capacité des communes ». Ces données ne sont pas adaptées pour la réalisation d'analyses de risque en raison de leur faible résolution spatiale. L'exposition aux éruptions volcaniques variant avec la distance au cratère, une étude statistique à l'échelle communale ne peut pas être représentative.

C'est pour cela que nous avons créé une nouvelle base de données socioéconomiques à l'échelle des villages, que nous appelons PODUS pour « *potensidusun* » (Annexe 1).

Nous avons réalisé des enquêtes PODUS par questionnaire durant deux ans (2009 - 2010). Les questionnaires ont été distribués dans 542 villages choisis situés dans les zones KRB I, II et III (sur la carte KRB de 2006) sur les flancs du Merapi (Figure 25). Ces recensements visent à acquérir des données sociales et économiques à l'échelle des villages, puis à les intégrer dans un Système d'Information Géographique ensuite utilisé pour analyser les enjeux, la vulnérabilité et la capacité de la population à faire face aux risques, notamment volcaniques.

Les données recensées incluent les ressources humaines et sociales, les infrastructures et les ressources naturelles, comme indiqué dans le Tableau 9 :

Tableau 9. Données PODUS recensées

Thème de données	Variable de l'enquête	Paramètres utilisés
Ressources humaines	Population	Nombre d'habitants Age Profession Handicapés
Ressources sociales	Organisation	Organisation en cas de crise
Infrastructures	Transport Communication Santé  Evacuation	Moyens de transport Moyens de communication Nombre de médecins Nombre de cliniques/hôpitaux Système d'alerte Camps de déplacés Panneaux d'évacuation
Ressources naturelles	Bétail	Têtes de bétail

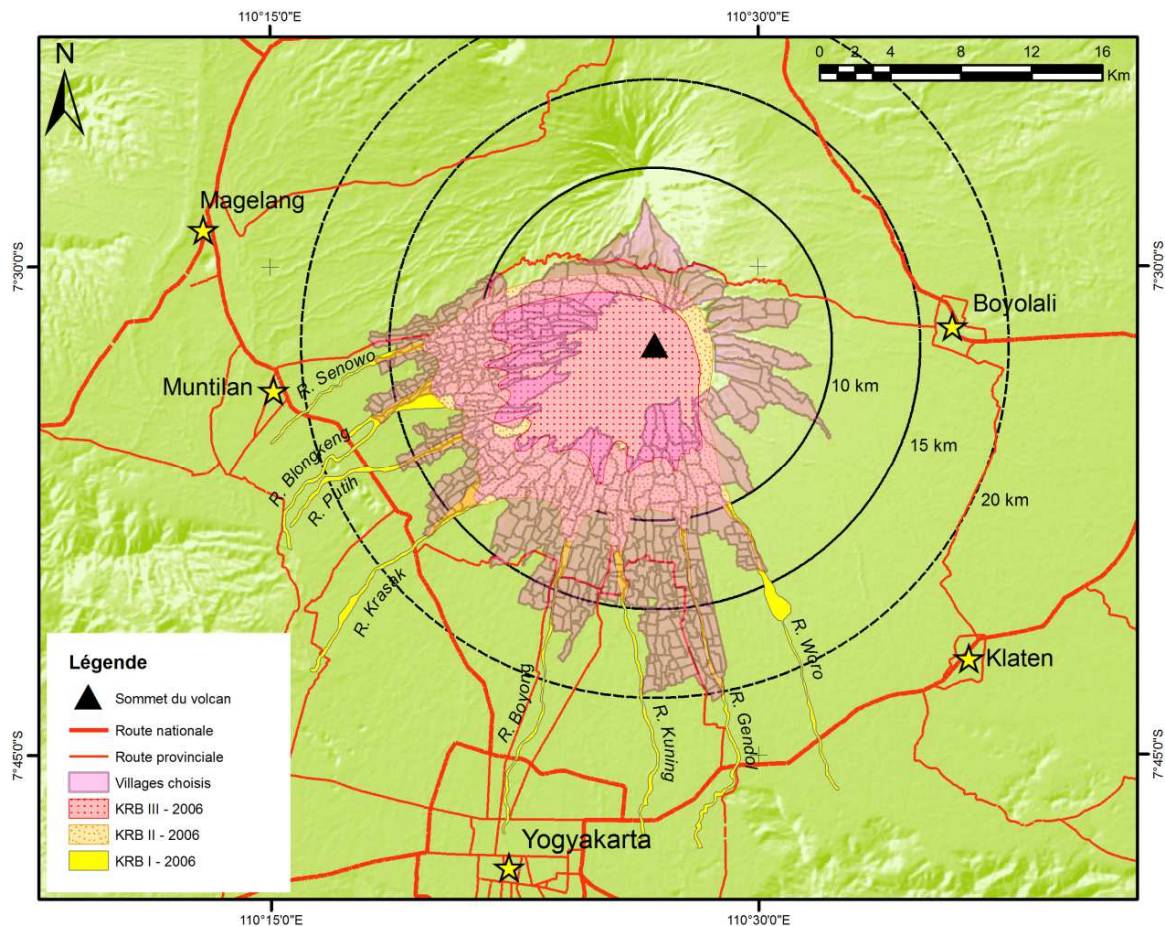


Figure 25. Villages choisis pour les études à l'échelle du volcan (PODUS et SURDADU5) inclus dans le zonage KRB de 2006.

En parallèle des recensements PODUS, nous avons créé une base de données géographiques des limites de villages dans chaque commune. Cela était nécessaire car cette information n'est pas disponible sur la carte topographique officielle délivrée par le BIG/Bakosurtanal (l'équivalent de l'IGN en Indonésie). Avec l'aide des maires et secrétaires des communes, nous avons réalisé une cartographie participative des limites de villages fondée sur les connaissances traditionnelles locales. Chaque village correspond à un territoire représenté par un chef<sup>6</sup>. Afin d'obtenir ces données spatialisées, nous avons soit imprimé la carte topographique officielle du BIG/Bakosurtanal, soit utilisé une carte communale disponible en mairie. Nous avons alors demandé au personnel de la mairie de délimiter les limites de chaque village (Figure 26). Ces données ont ensuite été enregistrées dans la carte topographique sous ArcGIS.

<sup>5</sup>Enquête *SURveiDAmPakDU*sun, présentée ultérieurement (1.4.1 p.15)

<sup>6</sup>Lorsqu'un chef est responsable de plusieurs *dusun*, ces *dusun* sont regroupés sous une seule et même entité dans la base de données.



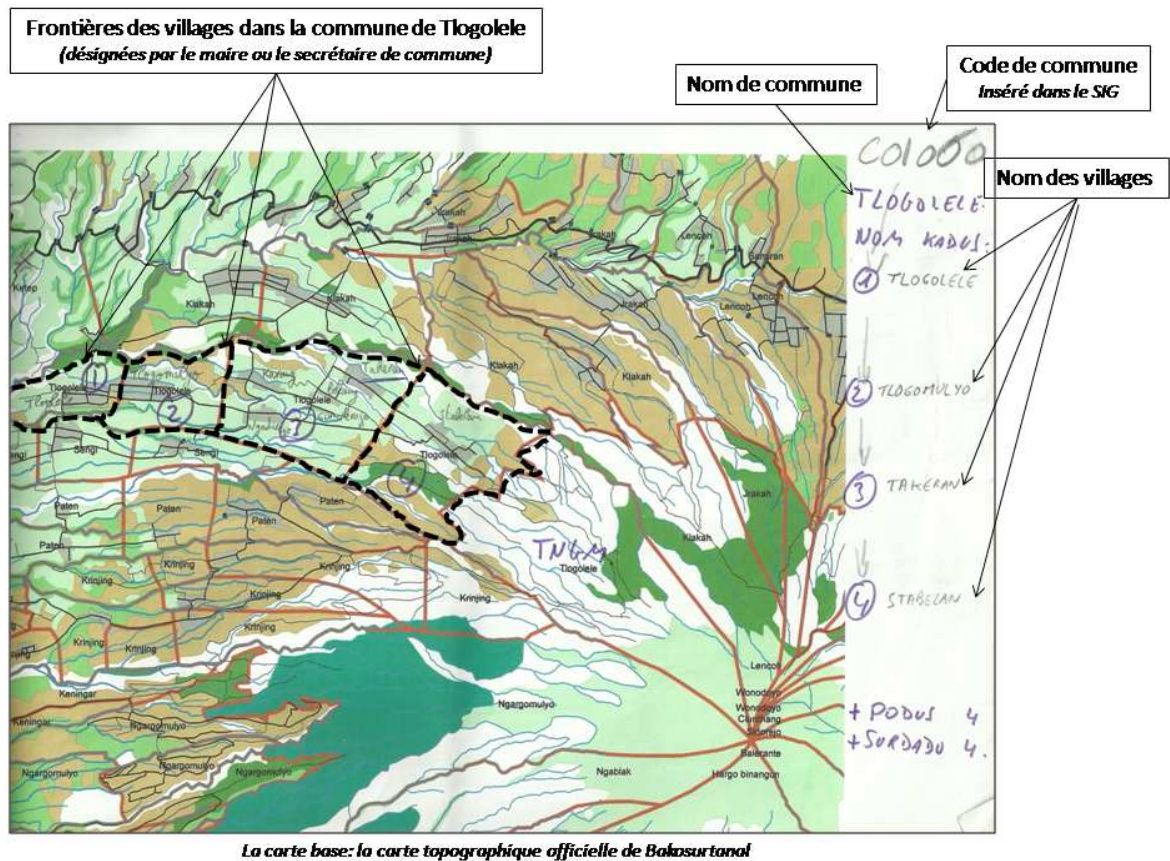


Figure 26. Elaboration de la carte des frontières de villages (dusun)

La réalisation de cette cartographie participative et a été complexe car les maires ou les employés de mairie ne savent pas tous lire une carte topographique ; dans ce cas, nous avons dû leur expliquer la carte en repérant des objets géographiques facilement identifiables tels que les routes, les rivières ou les carrefours.

Les consignes étaient clairement présentées sur la première page du questionnaire. Malgré tout, en raison de problèmes de compréhension, du manque de données disponibles, ou d'un manque de volonté pour compléter correctement l'enquête, les chefs de village n'ont pas toujours apporté de réponses ou fourni des éléments erronés. Dans ces cas, nous avons dû retourner dans les villages pour réaliser à nouveau les questionnaires.

### 1.2.2. Etat des routes

Les données sur l'état des routes ont été recueillies directement sur le terrain en utilisant le GPS et des cartes topographiques, d'avril jusqu'à juillet 2010. Nous avons d'abord collecté les

données secondaires sur l'état des routes au Département des Travaux Publics dans les *kabupatendeMagelang*, Boyolali, Klaten et Sleman. Nous avons ensuite effectué un classement de l'état des routes en fonction du type de matériaux (chemins de terre, routes pavées, routes cimentées, et routes asphaltées) et de la qualité de la route. Cette qualité est définie comme bonne, modérée ou mauvaise en fonction des observations réalisées sur le terrain. On obtient une typologie (Figure 27) basée sur les critères suivants :

- A1 : route asphaltée, sans déformation, fissures ou nids de poule
- A2 : route asphaltée avec de légères déformations, fissures, et nids de poule rebouchés
- A3 : route asphaltée avec déformations et/ou fissures sévères et nids de poule
- B2 : route cimentée sans fissures ou nids de poule
- B3 : route cimentée recouverte de mousse
- C2 : route pavée dont la surface est en bon état
- C3 : route pavée dont la surface est en mauvais état
- D3 : chemin de terre

La largeur de route constitue une troisième variable importante pour définir sa propension à favoriser ou freiner une évacuation. Elle varie d'environ 2 mètres pour les chemins de terre jusqu'à 9 mètres pour les routes asphaltées.



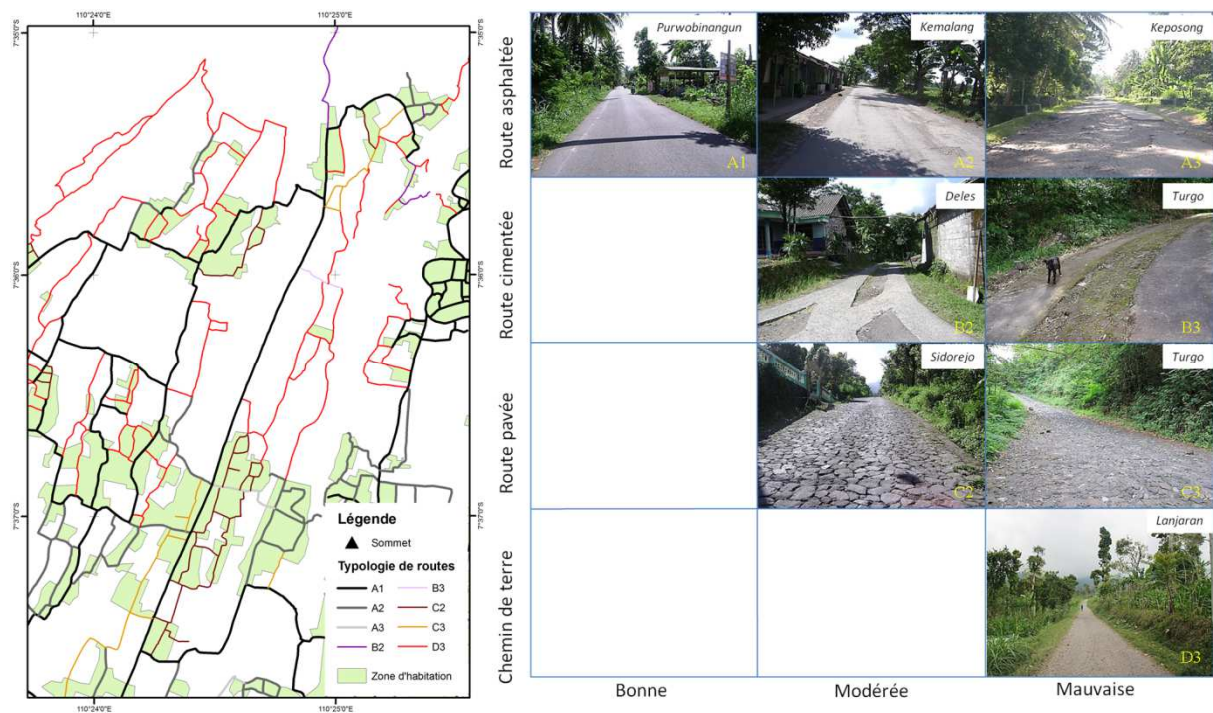


Figure 27. Carte de routes à Turgu et typologie des routes (Photo : Mei, 2010)

### 1.2.3. Entretien avec les acteurs clés : méthode et fiabilité

Nous avons choisi de réaliser des entretiens semi-directifs permettant le recueil de données qualitatives en orientant le discours des personnes interrogées autour de thèmes définis, sans toutefois l'y enfermer. Cette méthode qualitative de collecte de données a été utilisée pour: (1) étudier les différentes stratégies et mesures adoptées par les acteurs institutionnels de la gestion de crise lors des évacuations dans les quatre *kabupaten*; (2) déchiffrer les enjeux qui sous-tendent ces stratégies officielles; (3) enfin, comprendre les relations entre les acteurs gérant la crise et l'évacuation, à différentes échelles (du niveau provincial de Java Centre et de Yogyakarta au niveau des *kabupaten* de Magelang, Boyolali, Klaten et Sleman), afin d'analyser les problèmes de coopération. Les entretiens ont été réalisés avant la crise de 2010 (d'avril à août 2010) et après la crise (de décembre 2010 à février 2011). Les interviewés sont considérés à la fois en tant qu'individus et en tant que représentants des institutions impliquées dans la gestion de l'éruption de 2010 (Tableau 10). Les entretiens ont ainsi porté sur leur perception des problèmes liés aux risques volcaniques et expériences personnelles, autant que sur la politique de gestion de leur institution d'appartenance et leur opinion sur la gestion de la crise et des évacuations (Tableau 11).

L'entretien semi-dirigé est souvent utilisé pour la collecte d'information, car il permet une interaction plus spontanée et moins formelle. Pour que l'entretien constitue un instrument de recherche valide et fiable, il est nécessaire d'examiner comment la construction conjointe de l'entretien entre l'intervieweur et la personne interrogée influence les informations données (Grindsted, 2005). La validité de l'entretien dépend de la bonne compréhension des questions posées par la personne interrogée et de la clarté des réponses formulées (Suchman, et al., 1992). Le déroulement de l'entretien doit être flexible (relances de l'intervieweur, intégration des réponses qui n'étaient pas attendues, etc.), même si cette souplesse peut rendre l'entretien chronophage (Houtkoop-Steenstra, 2000). Les entretiens ont été effectués en indonésien et javanais en fonction des préférences et capacités de compréhension de l'interlocuteur. Nous avons été confrontés à des problèmes lors de certains entretiens, par exemple quand les personnes interrogées n'étaient pas à l'aise avec certaines questions. Dans ce cas, nous avons d'abord dû aborder d'autres sujets pour revenir seulement plus tard à la question qui nous intéressait.

Tableau 10. Personnes interrogées sur les capacités de gestion de crise par le biais d'entretiens semi-dirigés

Niveau	No	Institutions	Fonction dans l'institution	Nom
<b>Provincial</b>	1	Kesbanglinmas PB Propinsi DIY (maintenant BPBD à l'échelle provinciale)	Chef du BPBD DIY	Rusdianto
<b>Kabupaten</b>	2	Kesbanglinmas PB Sleman (maintenant BPBD)	Secrétaire du BPBD Sleman	AsihKushartanti
	3	Kesbangpolinmas Magelang (maintenant BPBD)	Chef du BPBD Magelang	Moch Damil
	4	Kesbangpolinmas Boyolali (maintenant BPBD)	Chef du BPBD Boyolali	Usfal Pius-Wawan
	5	Kesbangpolinmas Klaten (maintenant BPBD)	Chef du BPBD Klaten	Djoko Rukminto
	6	Département des Travaux Publics Sleman	Chef du service d'entretien des routes	Fauzan
	7	Département des Travaux Publics Magelang	Chef du service d'entretien des routes	Heriyanto
	8	Département des Travaux Publics Klaten	Chef du service d'entretien des routes	AgusPancaji
	<b>Du volcan</b>	9	BPPTK	Chef du BPPTK
10		BPPTK	Experts	Muhzani ; Dewi S.

Tableau 11. Thèmes abordés lors des entretiens semi-dirigés avec les personnes clés

Thèmes	Objectifs
<b>Perception des problèmes liés aux risques volcaniques et expériences personnelles.</b>	Mettre en évidence leur connaissance des problèmes Comparer leur perception avec la perception des populations Connaitre leur rôle dans l'organisation.
<b>Information sur la politique de gestion de l'institution de rattachement.</b>	Étudier les démarches de l'institution dans la gestion de crise et des évacuations : stratégie, enjeux, difficultés, coopérations avec d'autres organismes, actions menées auprès de la population, préparation aux crises futures.
<b>Opinion sur les actions et la gestion de crise et des évacuations.</b>	Expliquer les problèmes rencontrés, les réponses de communautés.

### 1.3. Récolte de données sur les déplacements temporaires des habitants lors de la crise volcanique en 2010

#### 1.3.1. Questionnaires auprès des personnes déplacées sur leurs réponses lors des évacuations et la gestion de la crise volcanique de 2010

Afin d'analyser la réponse des communautés lors de la crise de 2010, nous avons réalisé deux enquêtes auprès des personnes déplacées, en début d'éruption et après l'explosion majeure du 4-5 novembre 2010. Six questions majeures ont été posées aux personnes interrogées et deux questions ajoutées pour la seconde enquête (Tableau 12). La méthodologie pour analyser les comportements des populations en période de crise volcanique a été utilisée dans plusieurs études précédentes sur les risques volcaniques (Gaillard, et al., 2007; Texier, 2007; Lavigne, et al., 2008; De Bélizal, et al., 2011). Une méthode par échantillon à partir d'une liste de population était impossible à appliquer en temps de crise, en raison des nombreux déplacements entre villages et camps et d'un camp à l'autre. Par conséquent, les répondants ont été choisis de manière aléatoire au gré des rencontres et des disponibilités. Bien qu'il n'existe pas de taux de réponse minimum convenu, si nous pouvons recevoir le plus de réponses possible aux questionnaires, la conclusion tirée sur la population peut être statistiquement plus signifiante (Fowler, et al., 2008). Pour cette raison, dans cette recherche, nous avons essayé de recueillir autant de répondants que possible (au moins 20 par camp de déplacés).

Tableau 12. Objectifs des questionnaires sur les réponses lors des évacuations et de la crise volcanique de 2010

Objectif	Question
<b>Savoir à quel moment l'évacuation a été effectuée par la population</b>	Date d'évacuation ? Heure d'évacuation ?
<b>Connaître les moyens de transport utilisés</b>	Mode de transport utilisé ?
<b>Savoir comment l'évacuation a été gérée (volonté des populations ou imposée par les autorités)</b>	Volonté des gens à suivre une évacuation ?
<b>Allers-retours lors la période de crise</b>	Trajet du camp de déplacés au village pendant la période de crise ? Pour quelle raison ? Moment de journée ?
<b>Perception de l'éruption par la population*</b>	Pourquoi le volcan est-il en éruption ?
<b>Confiance accordée aux autorités locales*</b>	Confiance accordée au gouvernement et/ou aux volcanologues ?

(\*) Questions supplémentaires pour la seconde enquête

La première enquête a été menée pendant l'éruption du Merapi du 3 au 4 novembre auprès de 387 répondants dont 182 hommes et 205 femmes, dans cinq camps de déplacés (Figure 28 et Tableau 13). Selon le BNPB, le nombre de personnes déplacées dans les quatre *kabupaten* entre le 3 et le 4 novembre 2010 était d'au moins 80 000 personnes. La seconde enquête a été effectuée du 8 au 27 novembre 2010, impliquant 1 582 personnes interrogées dont 561 hommes et 1021 femmes dans 28 camps de déplacés autour du volcan (Figure 29 et Tableau 14). Selon les données officielles, il y avait 399 403 déplacés enregistrés autour du volcan, sans tenir compte de ceux partis vers d'autres provinces ou îles indonésiennes.

Lors des enquêtes, nous avons rencontré plusieurs difficultés méthodologiques. En raison du manque d'enquêteurs, du temps limité, du fait que le volcan était en éruption, et du fait que beaucoup de déplacés n'étaient pas dans les camps pendant la journée (notamment les hommes qui travaillaient ou retournaient au village), les questionnaires n'ont pas été distribués en plus grand nombre. Par ailleurs, après la violente explosion du 4-5 novembre, beaucoup d'étudiants qui nous avaient aidés pour faire des enquêtes sont rentrés chez leurs parents, hors de Yogyakarta.

D'un point de vue technique, même si les questions sont simples et appellent une réponse rapide, il n'est pas toujours facile de poser les questions aux personnes déplacées en raison de leur état psychologique. Nous avons surmonté ce problème en parlant d'abord informellement avec les personnes interrogées de leurs expériences liées aux éruptions. Une fois qu'elles se sentaient à l'aise, nous avons continué en utilisant le questionnaire. En conséquence, tous les interviewés ont répondu aux questionnaires.



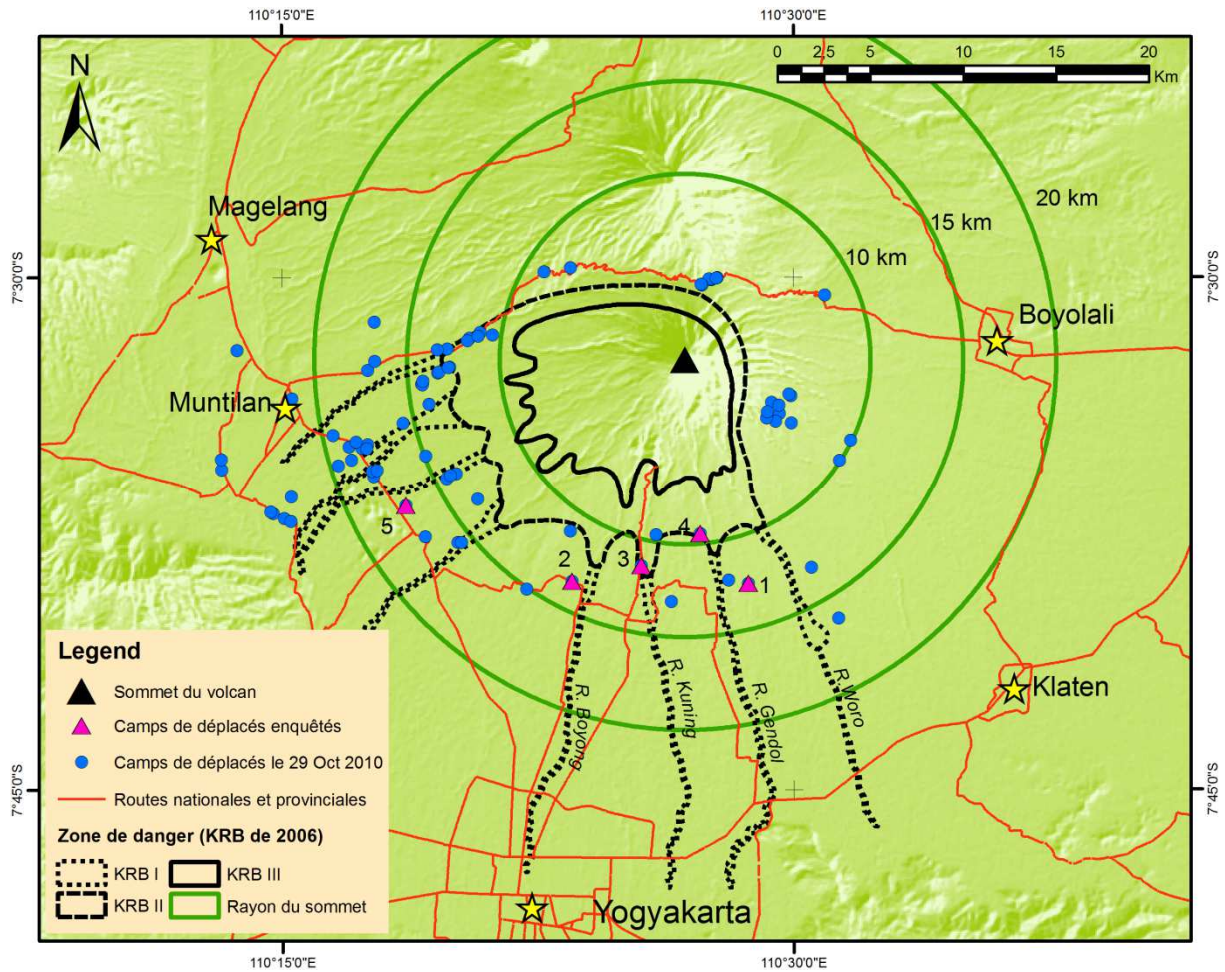


Figure 28. Camps de déplacés choisis pour la première enquête (avant l'explosion du 4 au 5 novembre 2010)

Tableau 13. Pourcentage des personnes interrogées dans les camps lors de la première enquête

No	Camps de déplacés	Nb de pers. interrogées	Nb de déplacés dans le camp	%
1	Bawukan (Klaten)	117	1250	9,3
2	Purwobinangun (Sleman)	90	2320	3,8
3	Hargobinangun (Sleman)	88	5979	1,4
4	Kepuharjo (Sleman)	48	2001	2,3
5	Jumoyo (Magelang)	44	1443	3,0
	<b>Total</b>	<b>387</b>	<b>12993</b>	<b>3,9</b>

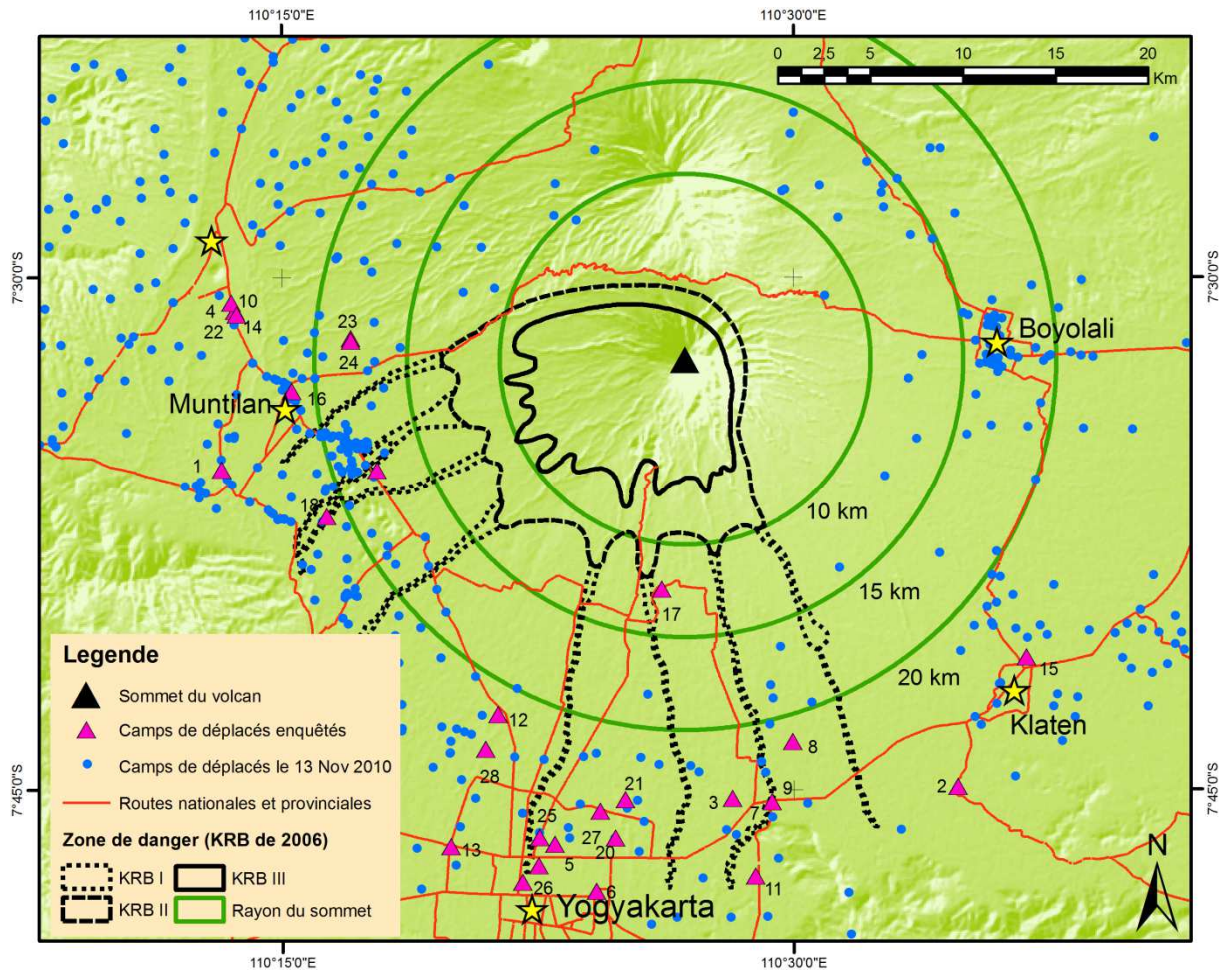


Figure 29. Camps de déplacés choisis pour la seconde enquête (après l'explosion du 4 au 5 novembre 2010)

Tableau 14. Pourcentage de personnes interrogées dans les camps lors de la seconde enquête

No	Camps de déplacés	Nb de pers. interrogées	Nb de déplacés dans le camp	%
1	Balai Muslimin Magelang (Magelang)	50	548	9,12
2	Dodiklatpur (Klaten)	25	6909	0,3
3	GendingsariTirtomartani (Sleman)	25	500	5,0
4	GOR New Armada (Magelang)	72	3017	2,3
5	GOR UNY (Sleman)	75	1055	7,1
6	JEC (Bantul)	20	1476	1,3
7	Kantor KecamatanPrambanan (Sleman)	90	2595	3,4
8	Kantor KelurahanKebondalemLor (Klaten)	30	2479	1,2
9	KecamatanPrambanan (Klaten)	80	548	14,5
10	KPU Kabupaten (Magelang)	23	877	2,6
11	MadurejoKecamatanPrambanan (Sleman)	35	1423	2,4
12	MasjidAgung (Sleman)	25	1000	2,5
13	Masjid Al IlhamKronggahan (Sleman)	30	400	7,5
14	Mertoyudan (Magelang)	50	1375	3,6
15	MTA Perwakilan (Klaten)	25	183	13,6
16	PabrikKertasBlabak (Magelang)	64	789	8,1
17	PondokPesantren Al-Qodir (Sleman)	30	344	8,7
18	PoskoMerapi 4 Yayasan Al Furqon (Magelang)	34	651	5,2
19	Rest Area Bunder (Gunungkidul)	23	4971	0,4
20	SMKN 1 Depok (Sleman)	40	520	7,6
21	Stadion Maguwoharjo (Sleman)	437	21 900	1,9
22	TPS Danurejo – Dolog (Magelang)	50	2359	2,1
23	TPS GadingsariSawangan (Magelang)	50	918	5,4
24	TPS TirtosariSawangan (Magelang)	25	675	3,7
25	UGM (Sleman)	34	1428	2,3
26	UKDW (Kota Yogyakarta)	40	573	6,9
27	UPN Veteran (Sleman)	20	1420	1,4
28	Youth Center Mlati (Sleman)	80	476	17
	<b>Total</b>	<b>1582</b>	<b>61409</b>	<b>2,57</b>

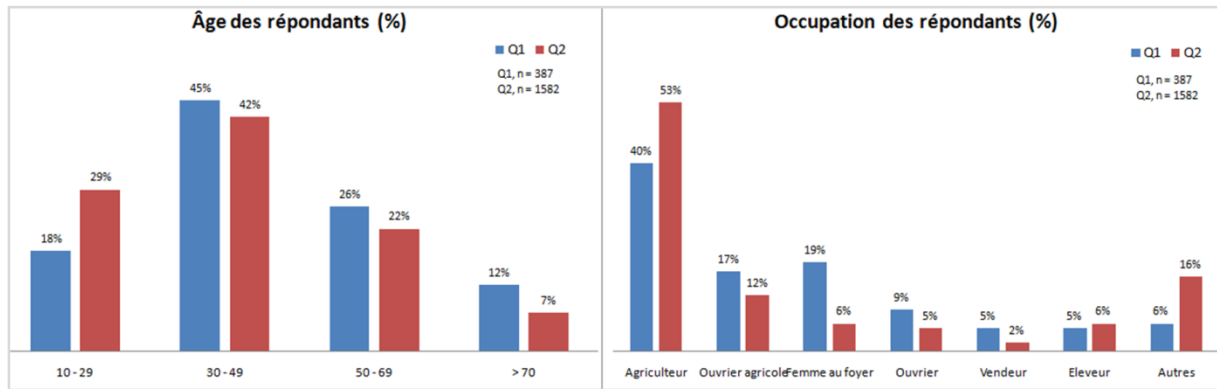


Figure 30. Caractéristiques des répondants aux deux enquêtes menées dans les camps (Q1 – bleu = première enquête ; Q2 – rouge = seconde enquête (Photo : Mei, 2010)

### 1.3.2. Données secondaires sur les camps et déplacés par kabupaten

Les données secondaires relatives aux camps et aux personnes déplacés ont été obtenues via le BPBD dans chaque *kabupaten*. Les données sur le nombre de déplacés sont journalières, réalisées par chaque camp de déplacés puis rassemblées par le BPBD.

### 1.3.3. Données secondaires sur la surveillance du volcan

Les données relatives à la surveillance du volcan (images issues des webcams et enregistrements sismiques) de septembre à décembre 2010 ont été obtenues auprès du BPPTK. Nous avons également compilé les conclusions et recommandations transmises par le BPPTK au gouvernement local et au public. Au cours de la période de crise, ces données ont été fournies toutes les six heures. Elles ont permis d'analyser la chronologie de l'éruption puis d'essayer de mettre en relation l'activité du Merapi avec le déroulement des évacuations.

## 1.4. Collecte des données sur la gestion des évacuations de 2010

### 1.4.1. SURDADU

Afin d'étudier la crise de 2010 et les effets de l'éruption, nous avons distribué des questionnaires post-éruption, baptisés « SURDADU » - *SURveiDAmPakDUsun*- en français « enquêtes



sur les effets de l'éruption à l'échelle des villages » (Annexe 2). Ces questionnaires ont été distribués à partir d'avril 2011 dans les mêmes villages que ceux du PODUS.

Les données recensées dans ce questionnaire incluent les thèmes de l'évacuation, des victimes, et des effets socioéconomiques de l'éruption de 2010 (Tableau 15). Cependant, pour les besoins de cette étude, seules les données liées aux évacuations et à la période de crise seront analysées: effectif de population, nombre d'handicapés, système d'alerte, période d'évacuation, moyens de transport, camps de déplacés, et bétail à évacuer.

Tableau 15. Thèmes des données dans SURDADU

Thème des données	Variable de l'enquête	Paramètres utilisés
<b>Ressources humaines</b>	Population	Effectif de population Age Métier/profession Handicapés Changement de métier
<b>Evacuation</b>	Système d'alerte	Moyen d'alerte précoce
	Période d'évacuation	Date et période d'évacuation Moyen de transport
	Camp de déplacés	Type de camps de déplacés
	Problèmes rencontrés	Difficultés lors des évacuations
<b>Victimes</b>	Nombre de victimes	Morts Blessés
<b>Conséquences de l'éruption de 2010</b>	Dommages	Maison Moyen de transport Infrastructure Bétail Bétail à évacuer
	Récupération	Tourisme après l'éruption Problèmes rencontrés Relocalisation et transmigration Aides et dons

#### 1.4.2. Entretien avec les personnes clés

Les entretiens ont été effectués de janvier à mars 2011, auprès des représentants des institutions assurant la gestion des catastrophes au niveau des *kabupaten* (Tableau 16). Cette méthode qualitative de collecte d'information a été utilisée pour étudier les réponses aux évacuations dans un premier temps, puis analyser les difficultés rencontrées lors de la crise volcanique de 2010.

Tableau 16. Personnes clefs interrogées (enquête en 2011 à l'échelle du volcan)

No.	Institutions	Fonction dans l'institution	Nom
1.	BPBD Sleman	Secrétaire du BPBD Sleman	Asih Kushartanti
2.	BPBD Magelang	Chef du BPBD Magelang	Moch Damil
3.	BPBD Boyolali	Chef du BPBD Boyolali	Usfal Pius-Wawan
4.	BPBD Klaten	Chef du BPBD Klaten	JokoRukminto

### 1.4.3. Recherche bibliographique

Une série d'articles de journaux locaux et nationaux concernant l'évacuation et la crise volcanique de 2010 au Merapi a été recueillie du début de l'éruption jusqu'au 30 avril 2011. Leur lecture a permis de repérer des éléments liés à la gestion des évacuations qui ont fait l'objet d'une validation ou invalidation au cours de nos entretiens.

Lors de la période de crise, nous avons par ailleurs assisté à plusieurs conférences à l'université UGM Yogyakarta qui ont permis d'obtenir des données supplémentaires sur la crise de 2010 : par exemple réunions au centre de recherche sur les catastrophes naturelles (PSBA) avec les professeurs de différentes facultés d'UGM, conférence nationale sur la gestion de crise du Merapi de 2010 « Lokakarya Tanggap Bencana Merapi » les 21-22 décembre 2010 en présence des membres du BNPB, du CVGHM, du BPPTK, du BPBD, du BMKG, de représentants de chaque *kabupaten* et des communautés universitaires.

## 1.5. Traitement des données

### 1.5.1. Intégration des données dans un Système d'Information Géographique et analyse spatiale

#### a. PODUS et SURDADU

Les données statistiques obtenues par le biais des questionnaires PODUS et SURDADU ont en premier lieu été saisies en utilisant les programmes *Sphinx* et *Excel*. Un code a ensuite été attribué à chaque village saisi, identique au code utilisé pour la base de données spatiales de la carte des villages sous *ArcGIS*. Enfin, plusieurs cartes sur les aspects sociaux et économiques ont été créées afin de représenter les vulnérabilités et capacités de la région.

b. Données de déplacement des populations lors de la période de crise

Les données journalières sur le nombre de personnes déplacées obtenues au BNPB et au BPBD de chaque *kabupaten* étaient des données numériques au format *Excel*. Afin de pouvoir étudier la distribution spatiale des personnes déplacées et son évolution dans le temps, nous avons d'abord récupéré la carte des camps de déplacés du BPBD, puis entré les données journalières de nombre de déplacés sous *ArcGIS*. Finalement, plusieurs cartes de distribution de la population pendant la période d'évacuation ont été produites.

c. Etat des routes

En utilisant la carte de base des routes du BIG/Bakosurtanal, les données de chaque tronçon de route de même catégorie (en termes de qualité) ont été entrées dans *ArcGIS*. Le type de matériel et la largeur de la route ont ensuite été ajoutés dans les tables attributaires.

### ***1.5.2. Analyse statistique des résultats des questionnaires***

Les résultats des questionnaires ont été saisis sous *Excel* puis la distribution de chaque variable a été représentée à l'aide de différents types de diagrammes, en camembert ou en colonne.

### ***1.5.3. Modélisation des évacuations à l'échelle du volcan***

A l'échelle du volcan, nous avons utilisé l'extension *RouteFinder* sous le logiciel *MapInfo*. Les données de base servant à la modélisation ont été préparées sous *ArcGIS* en format vectoriel: état des routes, zone urbanisée, camps de déplacés. Le logiciel *RouteFinder* a été utilisé pour effectuer des calculs d'accessibilité, son rôle principal étant d'obtenir le temps et la distance de parcours minimum nécessaire d'évacuation. La méthodologie de la modélisation des évacuations des populations sera présentée en détail dans le sixième chapitre.

## 2. Etude de l'évacuation des populations à l'échelle locale

### 2.1. Objectifs et choix de la méthode

Plusieurs études, notamment en sciences sociales, ont montré que le comportement des gens pendant la crise a plus de probabilité d'être adapté si la perception du risque est élevée (Kates, 1971; Burton, et al., 1978). Ce paradigme dit « dominant » suggère ainsi que la perception du risque détermine la réponse des populations face aux aléas naturels. Afin d'améliorer la perception du risque volcanique, la diffusion de l'information et l'éducation des sociétés sont essentielles (Leone, et al., 2009). Au Merapi, des efforts pour améliorer les connaissances des populations sur le risque sont menées par les autorités locales par le biais de programmes de sensibilisation au risque. Cependant, les problèmes sur la gestion des crises et des évacuations au Merapi ne se résument pas seulement à des problèmes de perception du risque, mais également à des facteurs sociaux, économiques et culturels. Cela est conforme aux recherches sur le comportement des populations face aux catastrophes naturelles dans les pays du Sud, qui montrent que le comportement des gens est déterminé par des contraintes sociales, économiques, politiques qui marginalisent certaines communautés et les empêchent d'avoir la pleine maîtrise de leur territoire (O'Keefe, et al., 1976; Hewitt, 1983; Wisner, et al., 2004; Gaillard, et al., 2007).

Nous avons abordé plusieurs thématiques afin:

- d'analyser la manière de concevoir les évacuations au sein des communautés étudiées par une approche participative avant, pendant et après la crise ;
- de comprendre leurs contraintes sociales, économiques et culturelles à l'échelle locale lors des crises volcaniques;
- étudier les réponses institutionnelles locales pour la gestion des évacuations.

Ces démarches permettent de mettre en lumière les manques de la gestion des évacuations lors des crises volcaniques en Indonésie, et de fournir des arguments pour une meilleure préparation aux évacuations au niveau local.

La collecte des données a eu lieu dans le *desa* de Ngargomulyo, le *dusun* de Turgo (commune de Purwobinangun), et le *dusun* de Bronggang-Suruh (commune de Argomulyo), tous situés en zone KRB III (zonage KRB de 2010).

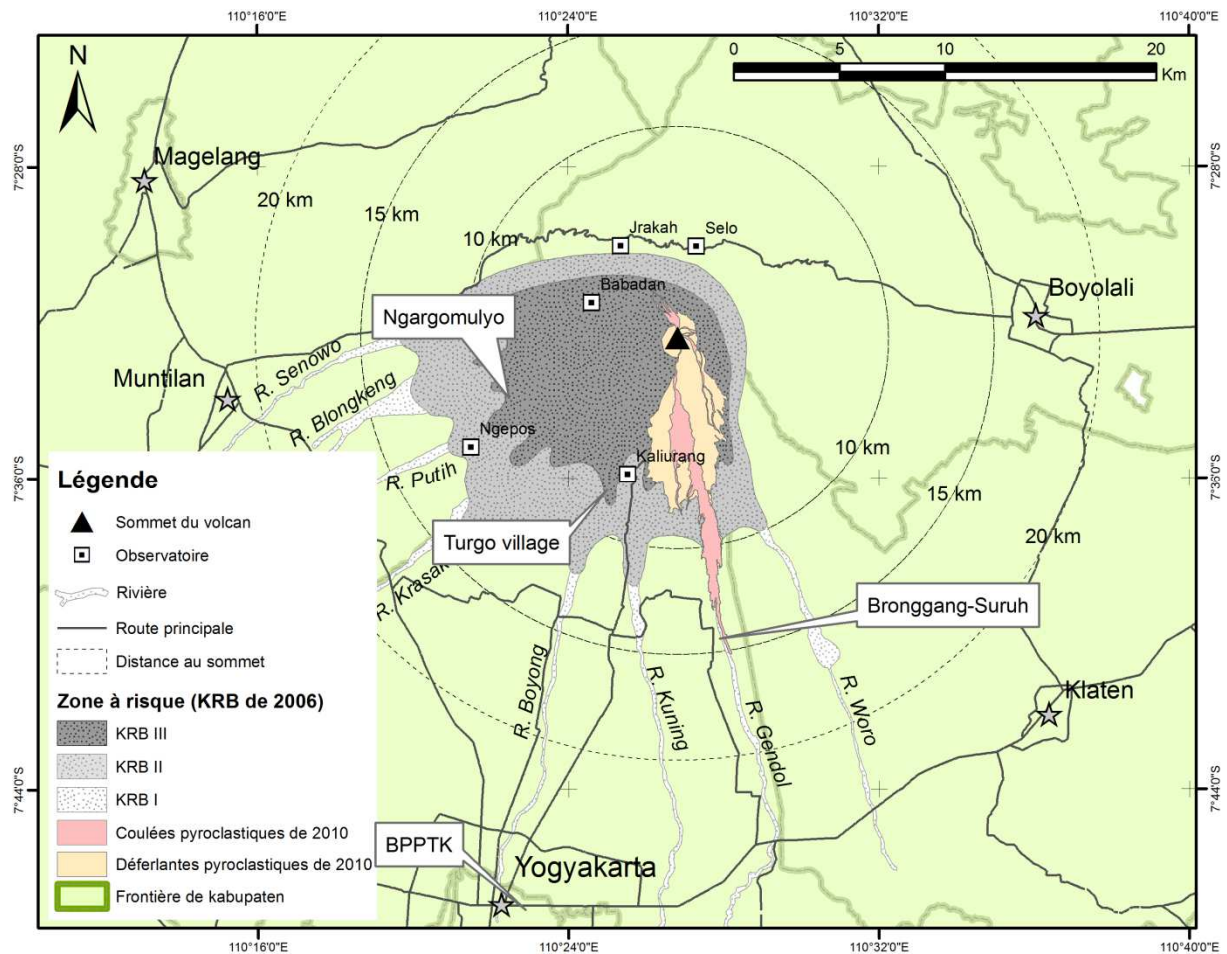


Figure 31. Villages d'étude (Turgo village, Ngargomulyo, Bronggang-Suruh)

### 1) Ngargomulyo

La commune de Ngargomulyo est située dans le sous-district de Dukun, dans le *kabupaten* de Magelang, à 8 km du sommet sur le versant ouest du Merapi. Il y a 11 villages dans la commune de Ngargomulyo : Sabrang, BaturDhuwur, Braman, Tanen, BaturNgisor, Kembang, Gemer, Ngandong, Karanganyar, Bojong et Tangkil (Figure 32). La moitié environ des habitations de cette commune est située dans la zone à risque plus élevée (KRB III). La commune a connu plusieurs épisodes volcaniques en 1930, 1961, 1967, 1994, 2006, le dernier étant celui de 2010. La population de Ngargomulyo est de 2424 habitants pour 775 familles (Tableau 17).

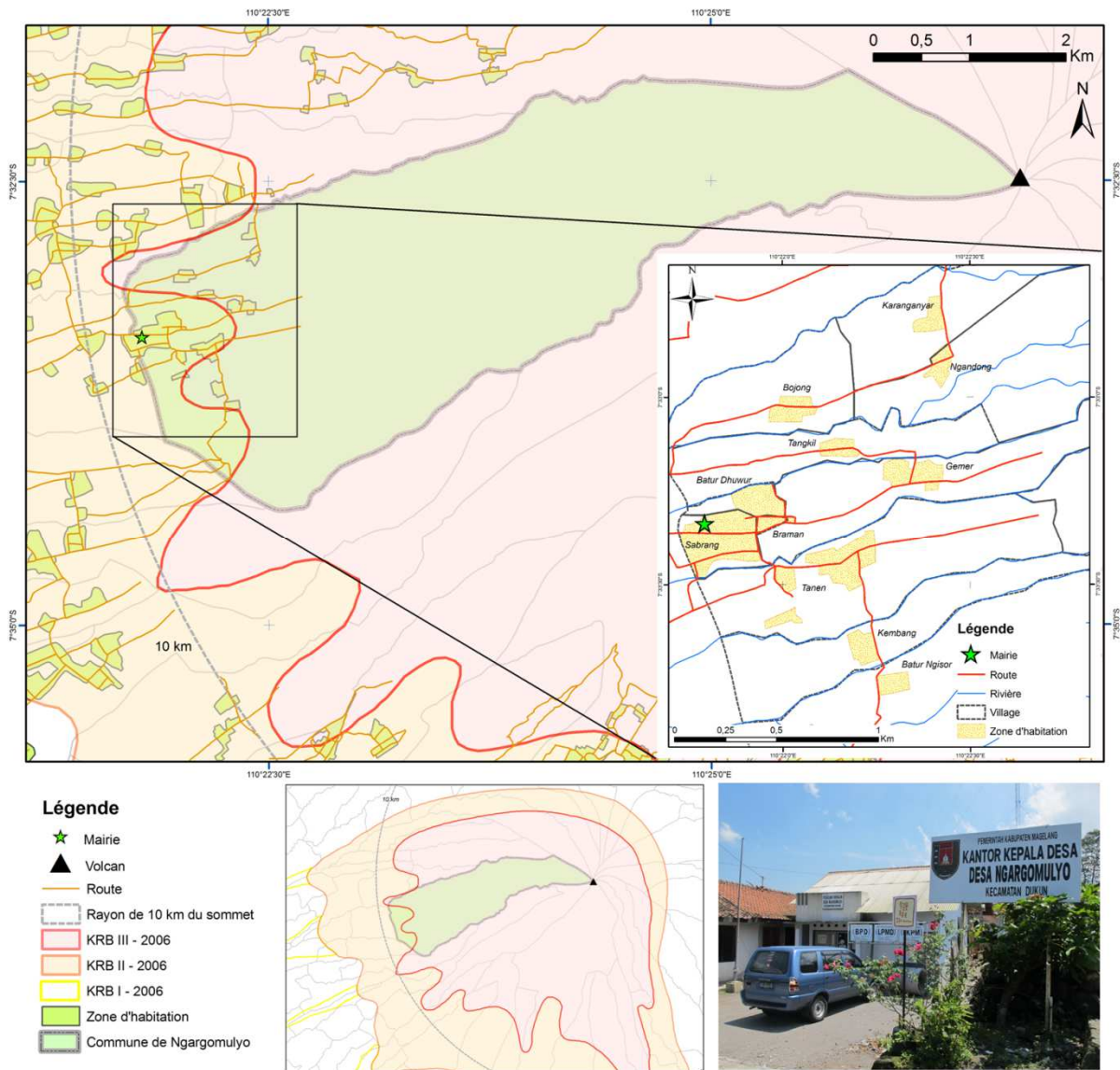


Figure 32. Commune de Ngargomulyo sur fond de carte KRB de 2010

Tableau 17. Répartition de la population par dusun dans la commune de Ngargomulyo en 2010

DUSUN	Nombre de foyers	Nombre d'habitants
Baturdhuwur	69	210
Baturngisor	53	169
Bojong	66	224
Braman	39	124
Gemer	66	229
Karanganyar	43	126
Kembang	61	191
Ngandong	38	103
Sabrang	104	300
Tanen	175	547
Tangkil	61	201
<b>Total</b>	<b>775</b>	<b>2424</b>



## 2) Turgo

Turgo est situé dans le village de Purwobinangun, dans le *kabupaten* de Sleman. Le 22 novembre 1994, des coulées et déferlantes pyroclastiques ont touché une partie du village situé à côté de la Rivière Boyong, tuant 69 personnes. Après l'éruption du Merapi en 1994, le gouvernement a réinstallé tous les habitants de Turgo dans un endroit plus sûr, à Sudimoro, situé 8 km au sud de Turgo. Cependant, beaucoup de villageois sont revenus progressivement dans le village. Par conséquent, la communauté de Turgo est désormais composée de deux entités spatiales : Turgo « relocalisation » à Sudimoro, et Turgo « village » (Figure 33). La population totale est 793 hab. (Tableau 18). Le Turgo « village », que nous étudions, est situé en zone de danger KRB III. Les éruptions de 2006 et 2010 n'y ont pas fait de victimes, mais les retombées aériennes ont détruit les récoltes et les pâturages.

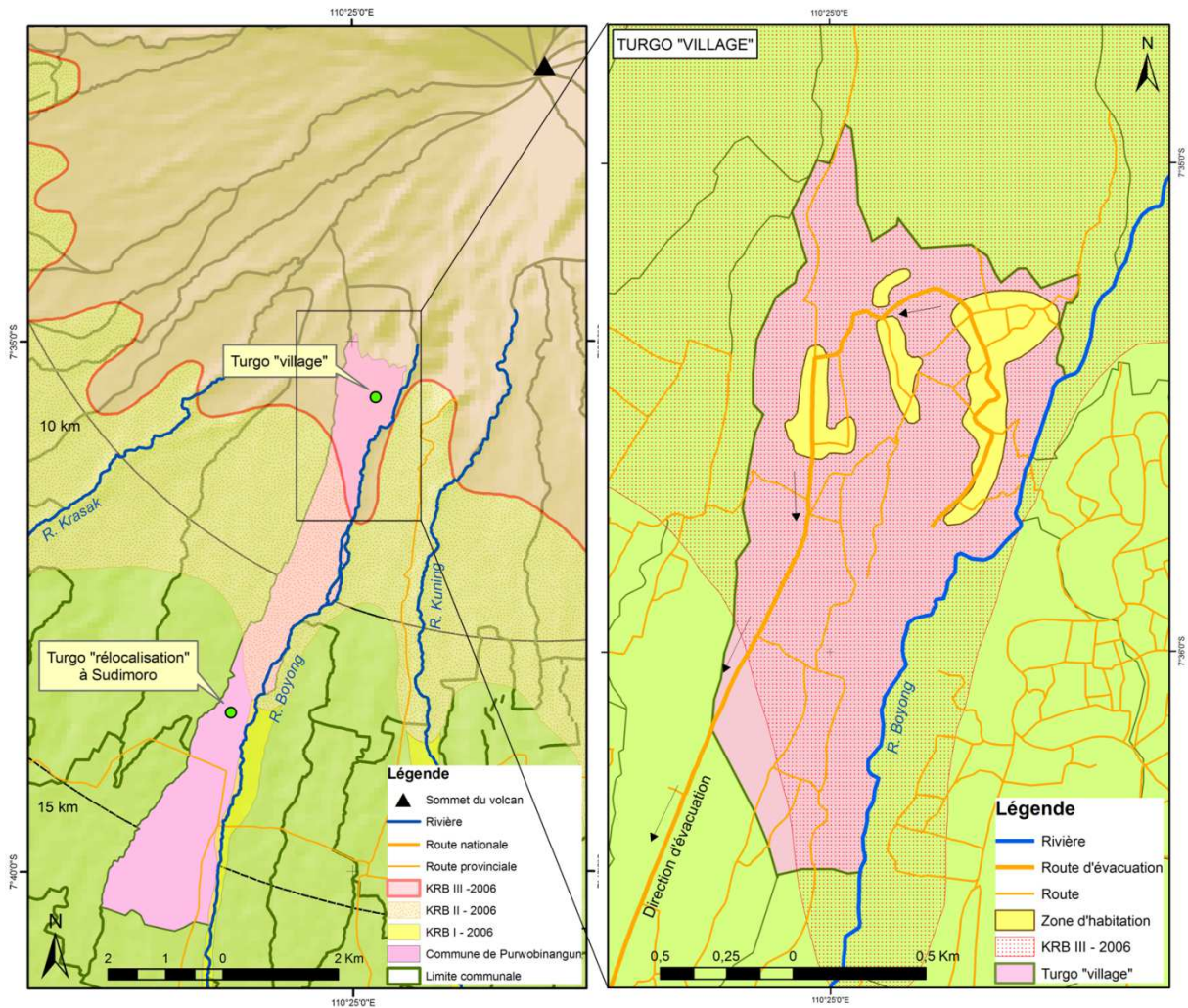


Figure 33. Village de Turgo sur fond de carte KRB de 2010

Tableau 18. Caractéristiques de la population de Turgo en 2010

Population	Turgo village	Turgo relocalisation	Total
Foyers	154	111	265
Hommes	224	164	388
Femmes	236	169	405
Handicapés	1	4	5
Personnes âgées (> 55 ans)	71	41	112
Enfants (<10 ans)	75	57	132
<b>Total</b>	<b>460</b>	<b>333</b>	<b>793</b>

### 3) Bronggang-Suruh

Suite à l'éruption de 2010, le village de Bronggang-Suruha été choisi comme troisième terrain d'étude où menerdes FGD. Ce village, situé le long de la rivière Gendol à 15 km du sommet du Merapi, fait partie de la commune d'Argomulyo, dans le *kabupaten* Sleman (Figure 34). On y a dénombré 49 morts et de nombreuses maisons détruites par les coulées et les déferlantes pyroclastiques pendant la nuit de 4-5 novembre 2010.



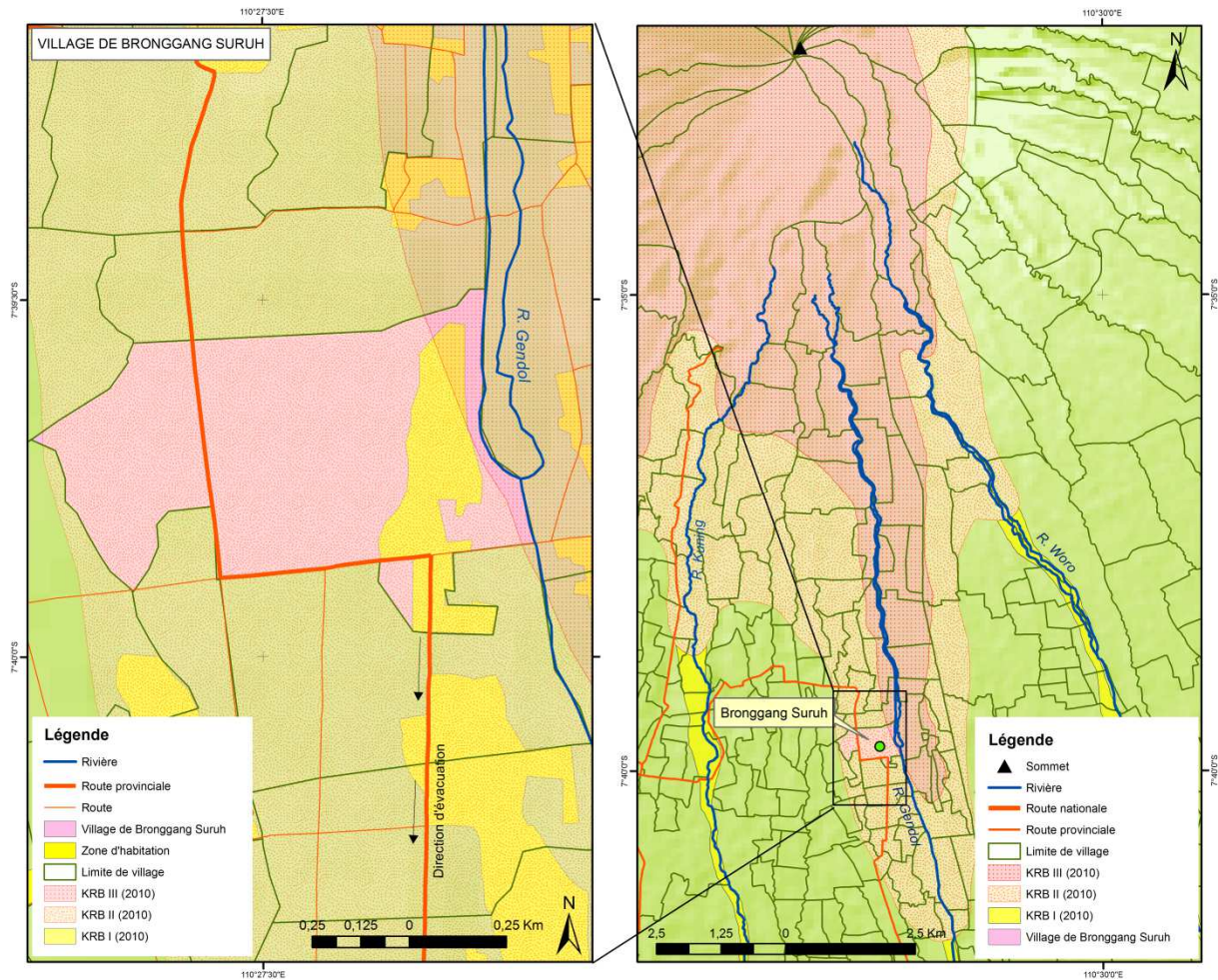


Figure 34. Village de Bronggang-Suruh sur fond de carte KRB de 2010

## 2.2. Enquête sur la perception des risques et le comportement des populations lors des crises d'origine volcanique

Les méthodes quantitatives telles que l'analyse statistique des réponses au questionnaire sont efficaces pour rechercher les relations de «cause à effet» entre variables individuelles, et sont couramment utilisées pour l'analyse de la perception du risque volcanique (Johnston, et al., 1999; Dominey-Howes, et al., 2004; Gregg, et al., 2004; Barberi, et al., 2008; Carlino, et al., 2008; Bird, et al., 2010). Une enquête par questionnaire a été réalisée de mai à juillet 2010 auprès de 143 villageois de Turgo. Son but était d'étudier en profondeur la connaissance de la communauté et la perception individuelle de l'activité volcanique, l'expérience des crises volcaniques et des évacuations, les stratégies traditionnelles d'adaptation pour prévenir les futures éruptions volcaniques (Tableau 19). Les questionnaires ont été réalisés en soirée, beaucoup de gens travaillant dans les champs ou en ville en journée. Certains ont également été menés lors des réunions

mensuelles des habitants de Turgo (Figure 35). Cela a favorisé une collecte de données beaucoup plus efficace en permettant la rencontre de nombreuses personnes simultanément.

Tableau 19. Objectifs des questionnaires et questions posées (Annexe 3 – Qa)

Objectifs	Thèmes des questions
Connaissance générale des risques volcaniques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evénements passés dans le village</li> <li>- Zones de danger du village</li> <li>- Niveaux d'alerte officielle</li> </ul>
Perception des risques volcaniques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perception du volcan</li> <li>- Perception et choix du lieu d'habitation par rapport aux aléas volcaniques</li> </ul>
Ressources	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ressources familiales</li> <li>- Moyens de transport</li> <li>- Dommages subis lors des éruptions</li> </ul>
Préparation et prise de décision des habitants face aux évacuations	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Système d'alerte</li> <li>- Point de rassemblement</li> <li>- Connaissance des routes d'évacuation</li> <li>- Expérience des évacuations</li> </ul>



Figure 35. Enquêtes auprès des populations à Turgo en été 2010 (Photo : Mei, 2010)

### 2.3. Entretiens semi-directifs avec les personnes clés de la gestion des crises

L'entretien semi-directif a été choisi pour nous permettre d'orienter les propos autour de thèmes définis : (1) connaissances et les expériences des événements volcaniques ; (2) perception des risques volcaniques ; (3) vulnérabilités ; (4) ressources et capacités ; (5) stratégies de gestion des crises et des évacuations ; (6) retour d'expérience et problèmes rencontrés lors des évacuations au cours de la crise de 2010. Cette méthode a été employée avant et après la crise de 2010 auprès de personnes impliquées dans le processus de gestion des crises et des évacuations, notamment des

représentants d'organisations institutionnelles, des fonctionnaires municipaux ou communaux et des membres de la communauté (Tableau 20).

Tableau 20. Personnes clés interrogées sur la gestion des crises à l'échelle locale

No.	Institutions	Fonction dans l'institution	Nom	Période de l'enquête
1	Commune de Ngargomulyo	Chef de la commune	Yatin	Juillet 2010, février 2011, juillet 2011
2	Commune de Ngargomulyo	Secrétaire de la commune	MartinusMuji	Juillet 2010, février 2011, juillet 2011
3	Commune de Ngargomulyo	Bénévole de recherche et sauvetage	Amin	Juillet 2011
4	Commune de Purwobinangun	Chef de la commune	Tri Suhardi	Juin 2010
5	Commune de Purwobinangun	Secrétaire de la commune	Nurhadi	Juin 2010
6	Commune de Purwobinangun	Bénévole de recherche et sauvetage	Sumiyati	Juillet 2010, février 2011
7	Village de Turgo	Chef du village	Misran	Juillet 2010, février 2011
8	Village de Turgo	Ancien chef du village	Suwaji	Juillet 2010, février 2011
9	Village de Turgo	Enseignante à l'école primaire	Partini	Juillet 2010, février 2011
11	Village de BronggangSuruh	Chef du village	Suwaji	Décembre 2010

#### 2.4. Focus Group Discussions avant et après la crise de 2010

Les discussions de groupe, plus généralement appelées FGD (*Focus Group Discussion*), sont souvent choisies dans la recherche en sciences sociales parce que :

- elles permettent d'obtenir des opinions à la fois individuelles, et interactives sur la façon dont les participants réagissent à un sujet donné et aux opinions des autres interviewés ;
- elles permettent de mieux cerner les capacités et vulnérabilités de certains groupes spécifiques (jeunes, personnes âgées, etc.) ;
- leur réalisation est l'occasion d'évaluer les programmes mis en place au sein des communautés (Irwanto, 2006; Krueger, et al., 2009), par exemple au Merapi, comprendre si les messages de sensibilisation délivrés par les autorités ont été assimilés.

Le FGD est considéré comme l'une des approches appropriées à cette étude afin d'affiner les données acquises par les entretiens et les questionnaires. Les FGD ont été effectués avant et après la crise du Merapi de 2010.

### 2.4.1. Avant l'éruption de 2010

Les FGD ont été menés au village de Turgo du 19 au 24 juillet 2010, et dans la commune de Ngargomulyo du 28 au 29 juillet 2010. L'objectif de ces FGD a été d'analyser les événements volcaniques passés, leurs conséquences, les problèmes rencontrés, et les stratégies déployées pour faire face aux crises.

#### a. Sélection des participants

Dans un premier temps, nous avons mené dans chaque village un FGD avec quatre groupes différents reflétant les différents types de population : des femmes, des jeunes, des personnes âgées, et des hommes (ce dernier groupe incluant des fonctionnaires locaux) (Tableau 21). Nous avons ensuite sélectionné vingt participants au maximum pour chaque discussion. Ils ont été soigneusement choisis avec l'aide du maire de la commune ou du chef de village afin d'obtenir des échantillons représentatifs de la population. Par exemple, s'il y a cinq hameaux dans un village, chaque hameau est représenté par quatre participants. Ce mode de sélection est critiquable dans la mesure où il est nécessairement basé sur des relations de connivence entre le chef qui aide à la constitution des groupes et les personnes qu'il choisit. Nous avons donc systématiquement cherché à analyser les relations entre villageois, et à recouper nos observations par le biais de discussions informelles avec d'autres villageois non inclus dans ces groupes de discussion.

Tableau 21. Nombre de participants aux FGD avant l'éruption de 2010

Groupes de FGD	Turgo	Ngargomulyo
Femmes	18	18
Jeunes (10 à 15 ans)	18	16
Personnes âgées (plus de 60 ans)	14	20
Hommes y compris les représentants du village	13	17

#### b. Déroulement de la discussion

Dans un premier temps, nous avons créé une liste des catastrophes passées listant : (1) la date de l'événement ; (2) les dommages causés ; (3) les ressources utilisées pendant la crise ; (4) le système d'alerte ; (5) les difficultés rencontrés ; (6) les aides/dons ; (7) les changements après la catastrophe et (8) la stratégie pour faire face aux crises futures. Les participants ont été divisés en petits groupes pour faciliter le remplissage des tables. Tous les participants ont été invités à remplir un tableau après une discussion commune. Chaque groupe a ensuite été invité à présenter la liste des catastrophes afin de vérifier les données et d'en discuter (Figure 36). Un modérateur a conduit la



discussion pour que celle-ci reste focalisée sur les thèmes choisis. En outre, un secrétaire s'est chargé de produire le compte rendu des débats. Chaque groupe de discussion a duré une heure et demie à deux heures maximum pour éviter la fatigue des participants selon les conseils promulgués par Krueger et al. (2009).



Figure 36. Focus Group Discussion dans les villages de Turgo et Ngargomulyo (Photo : Mei, 2010)

### c. Difficultés rencontrées

La mise en œuvre d'un FGD nécessite une longue préparation. Nous avons eu besoin d'au moins une dizaine de jours pour communiquer avec le maire de la commune et le chef du village, sélectionner les participants avec leur concours, et préparer le lieu de tenue des discussions. D'un point de vue technique, le FGD nécessite un nombre important d'organiseurs : au moins un modérateur ou facilitateur, un secrétaire ou enregistreur, et une ou deux personnes chargées de la logistique. Les FGD étaient animés collectivement par une scientifique du BPPTK et des membres du programme MIA VITA.

Nous avons pu constater que les participants de FGD à Turgo et à Ngargomulyo n'étaient pas tous très actifs, condition pourtant importante pour que le FGD soit un succès. Le problème de la timidité pour exprimer leurs opinions, souvent lié à leur crainte d'énoncer des choses incorrectes, a pu être résolu progressivement à mesure que l'atmosphère se détendait pendant la discussion. Les difficultés à s'exprimer tenaient également au fait que tous les interviewés ne parlent pas couramment l'indonésien. Dès que l'indonésien posait des problèmes de compréhension, nous

avons utilisé la langue javanaise<sup>7</sup>. Les autres problèmes rencontrés étaient dues aux relations entre les participants. Le niveau social, l'âge et la position politique dans la communauté ont parfois mis des intervenants en avant, prenant plus la parole que les autres ou coupant les commentaires durant les discussions, ce qui ont créé le silence de certains participants. Dans ce cas, le modérateur a essayé d'intervenir la discussion et a donné ensuite la parole pour les personnes qui ne s'expriment pas beaucoup.

#### *2.4.2. Après l'éruption de 2010*

En mai 2011, nous avons mené une discussion participative dans le village de Bronggang-Suruh. Elle a eu pour but d'établir un retour d'expérience sur les évacuations en 2010. Les questions posées ont concerné :

- la préparation des habitants aux évacuations ;
- le système d'alerte ;
- les moyens de transport ;
- les points de rassemblement et lieux de retrouvailles ;
- les camps de déplacés ;
- les difficultés rencontrées ;
- le retour au village ;
- les abris temporaires pour ceux qui n'ont plus de maison.

La discussion, longue d'une heure et demi, a été suivie par le chef du village, deux femmes, et quatre représentants des jeunes. La discussion s'est déroulée en indonésien, toutefois, quelques mots javanais ont été employés. Tous les participants ont ouvertement discuté et ont parfois débattu sur les sujets abordés, sans pression de la part d'un autre participant.

Un second FGD a été réalisé dans la commune de Ngargomulyo en juillet 2011. Pour ce FGD, nous avons cherché à répondre aux mêmes questions, en utilisant une maquette participative en trois dimensions en tant qu'outil de discussion. Pour plus de détails, nous expliquons la maquette participative dans le sous-chapitre suivante (§cf. 2.5 p.103).

---

<sup>7</sup>L'indonésien est la langue utilisée en entretien officiel. La plupart du temps, les villageois essaient de communiquer dans cette langue. KRB est par exemple un mot indonésien qui ne peut pas être traduit en javanais.

## 2.5. Maquette participative en trois dimensions

La cartographie tridimensionnelle participative ou *Participatory 3-Dimensional Mapping* (P3DM) consiste à développer une carte en relief avec du matériel disponible localement (carton, papier, polystyrène) sur laquelle sont superposées différentes « couches thématiques » (Gaillard, et al., 2009). Le P3DM permet la mise en évidence des besoins journaliers, des formes du relief, des repères topographiques, de l'utilisation des sols et du couvert végétal qui sont représentés par des punaises (points), des fils (lignes) et de la peinture (polygones).

### 2.5.1. Construction de la maquette

La maquette a été réalisée par 15 participants du 4 au 15 juillet 2011 avec la collaboration du Comité Catholique contre la Faim et pour le Développement (CCFD), du Sekretariat Pelayanan Tani Nelayan-Hari Pangan Sedunia (SPTN-HPS) et du Centre National de la Recherche Scientifique français (CNRS) dans le cadre du projet MIA VITA. L'objectif premier de cette maquette était l'intégration de la réduction des risques de catastrophes liées aux aléas naturels dans le plan de développement local. Cependant, pour cette étude, nous nous sommes concentrés seulement sur l'évacuation. Nous avons élaboré deux maquettes en une, à deux échelles différentes, l'une permettant de visualiser la localisation du *desa* sur le massif volcanique, l'autre représentant les enjeux, leurs capacités et vulnérabilités dans l'ensemble des *dusun* du *desa*.

Nous avons utilisé les données suivantes :

- la carte topographique du BIG/Bakosurtanal ;
- des données démographiques récoltées par village (nombre de personnes par maison, personnes vulnérables);
- des données sur les moyens de transport (nombre de motos, voitures, camions);
- des données concernant le risque volcanique (limite des zones de risque).

Les étapes pour construire la maquette ont consisté à (Figure 37):

- préparer la carte de base en utilisant le polystyrène ;
- recouvrir les couches de polystyrène avec du papier journal ;
- peindre la carte en blanc ;
- tracer les informations essentielles (routes et frontières) ;
- peindre la carte en couleur (en fonction de l'utilisation du sol) ;

- apposer les informations démographiques et socioéconomiques, et le zonage KRB.

Une fois celle-ci terminée, nous avons utilisé la maquette pour récolter des données sur les évacuations (§ cf. 2.5.2 p. 104).

### *2.5.2. Récolte des données en exploitant la maquette*

La maquette participative nous a permis d'obtenir des données sur l'évacuation des populations à Ngargomulyo (Figure 38). Les discussions ont porté sur l'expérience de l'éruption et sur l'avertissement d'augmentation du niveau d'activité volcanique ; le moyen d'alerte ; la disponibilité de transports locaux et officiels ; la qualité perçue des routes d'évacuation ; les points de ralliement ; les difficultés rencontrées pendant l'évacuation ; le refus d'évacuation ; le retour temporaire au village pendant la période d'évacuation ; et le retour permanent au village après la période de crise. Les discussions ont également porté sur les projets communaux, le plan de sauvegarde du village, le développement du village y compris l'amélioration des routes et panneaux d'évacuation, l'organisation des évacuations (gérées par le gouvernement local et par la communauté), et l'évacuation du bétail.

Nous avons également utilisé cette maquette en tant que carte de base pour faire des enquêtes auprès des habitants sur les chemins utilisés lors de l'évacuation de 2010 (Figure 39). Les étapes ont été :

- de créer l'étiquetage sur chaque tronçon de route sur la maquette (23 routes ont été identifiées) ;
- de sélectionner 10 % du nombre des habitants de chaque village.
- d'interroger les habitants en utilisant la maquette et un tableau d'enquête sur : les chemins pris, le point de ralliement utilisé, les camps de déplacés choisis, et le moyen de transport utilisé.

Les réponses aux questions ont ensuite permis de comparer les chemins pris pendant l'évacuation et ceux qui auraient idéalement dû être pris selon les résultats des modélisations.



### *2.5.3. Difficultés méthodologiques rencontrées*

Nous avons rencontré plusieurs difficultés lors de la réalisation de la maquette:

- La qualité de la base de données cartographiques n'est pas bonne, à cause des différentes échelles et des différentes sources de données. Les isohypses sur les maquettes ont été tracées en utilisant deux MNT (1 :5000 et 1 :1750). Les autres éléments (cours d'eau, routes, etc.) ont été dessinés d'après les éléments présents sur la carte topographique (1 :25000). Ces données ont ensuite pu être corrigées sur le terrain en utilisant un GPS sur quelques points de contrôle. Concernant l'occupation du sol, la carte a été réalisée à partir d'une image satellite IKONOS du village datant de 2006, et d'images Google Earth ;
- Au plan technique, l'utilisation du polystyrène a été difficile : il n'est pas disponible sur place<sup>8</sup> et impose un long temps de séchage de la maquette (de l'ordre d'une demie journée) ;
- Le problème du stockage de la maquette a été mal anticipé au départ. Avec une superficie de 6 m<sup>2</sup> (2 m x 3 m), il était difficile de la placer à la mairie. Par conséquent, nous avons décidé de créer un abri permanent pour la maquette, situé sur la route principale de la commune de Ngargomulyo, auquel tout le monde peut accéder.

Malgré les problèmes rencontrés lors de la réalisation de la maquette, nous avons pu constater que les habitants qui étaient timides pour exprimer leurs avis lors du FGD avant l'éruption (§ cf. 2.4 p. 99) étaient plus à l'aise pour montrer leurs opinions et leurs expériences sur les sujets de discussion à partir de la maquette. Cela nous a permis d'obtenir plus de données et de bien analyser la gestion des évacuations et la gestion des crises à l'échelle locale à Ngargomulyo.

---

<sup>8</sup>Bien que la philosophie des maquettes P3DM consiste à utiliser les matériaux disponibles localement, nous n'avons trouvé aucun matériel de substitution facilement utilisable. Du polystyrène a donc été acheté en ville pour être amené dans le village.

**ETAPES AFIN DE RÉALISER LE P3DM**

1. Consultation avec les acteurs locaux
2. Recherche sur l'utilisation de construction
3. Choix de l'échelle de la carte
4. Explications de la méthode aux participants
5. Préparation (tableaux, carte de base, autres matériels)
6. Identification des risques et dangers, des biens vulnérables, préparation de la légende
7. Repérage et pointage des informations de la communauté sur la carte
8. Repérage et pointage des dangers sur la carte
9. Evaluation des catastrophes naturelles
10. Planification de la réduction des risques liés aux catastrophes naturelles
11. Finalisation de la carte
12. Intégration des données du P3DM dans le Système d'Information Géographique
13. Transmission de la carte aux acteurs locaux
14. Mise à jour de la carte

**MATERIEL NÉCESSAIRE POUR LE P3DM**

- Perles/punaises (détails ponctuels)
- Ciseaux, cutter
- Fils (détails linéaires)
- Crayon, stylo
- Peinture acrylique (détails de surface)
- Scotch
- Aiguilles
- Papier carbone et crépon
- Dés à coudre
- Carton ondulé, nattes en plastique, polystyrène
- Clous et petit marteau
- Pinceau de différentes tailles
- Colle
- Planche contre plaqué

**Préparation du contour de la carte**

**Découper les couches de Polystyrène**

**Assembler les différentes couches de la carte**

**Recouvrir de papier journal**

**Tracer les informations essentielles**

**Peindre la carte**

**Repérer les informations avec les enfants**

**Représenter les informations de la communauté**

Figure 37. Réalisation de la maquette participative en trois dimensions à Ngargomulyo, du 4 au 15 juillet 2011



Figure 38. Discussion sur les risques volcaniques entre les habitants et les personnels du BPPTK en utilisant la maquette (Photo : Mei, 2010)



Figure 39. Enquêtes sur les chemins utilisés lors de l'évacuation de 2010 à partir de la maquette (Photo : Mei, 2010)

## Conclusion

La méthodologie ainsi exposée vise à répondre le plus précisément et complètement possible à notre problématique.

D'une part, une étude à l'échelle du volcan sert à analyser les réponses institutionnelles de gestion des évacuations, à modéliser une évacuation des populations lors d'une crise d'origine volcanique, et à évaluer le plan d'urgence existant au niveau de chaque *kabupaten*, notamment pour le comparer avec la situation réelle lors de la crise éruptive de 2010. D'autre part, une étude à l'échelle locale, fondée sur une approche participative, permet d'analyser les contraintes et les facteurs déterminants dans la gestion locale des évacuations et d'étudier les réponses communautaires face aux crises d'origine volcanique.

Le choix de méthodes particulières dans la recherche sur la gestion des évacuations, qui comprend une étude chronologique (avant, pendant et après la crise) ainsi qu'une approche participative, devrait apporter un éclairage sur la prise en compte d'éléments clés dans la gestion des évacuations lors des crises d'origine volcanique.



## **2ème partie : Contexte général d'étude et méthodologie de recherche**

Chapitre 4. Se préparer aux évacuations à la veille de l'éruption de 2010

Chapitre 5. Etude des évacuations lors de l'éruption de 2010

Chapitre 6. Modélisations des évacuations



# C

## hapitre 4. Se préparer aux évacuations à la veille de l'éruption de 2010

---

L'objectif de ce chapitre est d'étudier la préparation des évacuations des populations des flancs du Merapi à la veille de l'éruption de 2010. Nous mettrons en évidence les dispositifs et les stratégies locales de gestion des évacuations. Nous aborderons ensuite les contraintes rencontrées lors de la préparation des évacuations par les communautés locales et le gouvernement. Nous avons pour cela effectué des enquêtes de données socioéconomiques à l'échelle des communes (PODUS), étudié la qualité des routes, réalisé des questionnaires et groupes de discussions (FGDs) auprès des habitants, et récolté des données secondaires sur la gestion des crises et des évacuations lors des précédentes éruptions du Merapi.

### 1. Anticipation des crises dans les zones à risque volcanique élevé

#### 1.1. Le plan d'urgence : condition sine qua non pour une évacuation rapide et effective

##### 1.1.1. Le plan d'urgence au Merapi : un effort inachevé

Pour une intervention efficace en cas d'urgence, les rôles, responsabilités, procédures, ressources disponibles, et mesures de coordination de l'ensemble de ces éléments, doivent être identifiés à l'avance. En 2009, des plans d'urgence ont été créés dans chaque *kabupaten* du Merapi par le BPPTK et le BPBD, avec une aide financière de 600 millions d'IDR de l'UNICEF. Au cours de nos recherches de terrain, nous n'avons pu obtenir que les trois plans d'urgence des *kabupaten* de Klaten, Sleman et Magelang. Celui du *kabupaten* de Boyolali n'a pas été inclus dans cette recherche car le précieux document a été perdu lors du déménagement des bureaux du BPBD de Boyolali et en raison de plusieurs changements d'employés. Le zonage du risque pris en compte dans ces plans d'urgence repose sur la carte KRB du CVGHM réalisée après l'éruption de 2006. Ce plan possède un unique scénario de coulées pyroclastiques proposé par les volcanologues (Tableau 22).



Selon l'analyse du BPPTK, les éruptions de référence pour le *kabupaten* de Sleman sont celles de 1930-1931 et de 1961. En raison de l'instabilité du versant méridional du Merapi après l'éruption de 2006, les volcanologues avaient prédit que la prochaine éruption serait orientée vers le Sud, notamment dans les vallées des rivières Gendol, Kuning et Boyong. En conséquence, ils ont suggéré que le scénario utilisé dans ce plan soit fondé sur l'éruption de 1961, de VEI 3. Ce scénario envisageait des coulées pyroclastiques de 12 km dans la rivière Gendol, de 10 km dans la rivière Woro, et de 7 à 8 km dans les rivières Kuning, Boyong et Bedog. En conséquence il programmait une évacuation de quatre mois pour les 12660 personnes recensées dans la zone KRB III.

Le plan d'urgence du *kabupaten* de Magelang utilise un scénario fondé sur les éruptions de 1961, 1967 et 1969. Les coulées pyroclastiques ont parcouru 15 km dans la rivière Bebung, 10 km dans les rivières Putih et Blongkeng, et 7 km dans la Pabelan. Ce scénario prévoyait deux mois d'évacuation pour les 32987 habitants recensés dans la zone KRB III.

Le plan d'urgence du *kabupaten* de Klaten ne s'appuie que sur la carte KRB 2006 fournie par le BPPTK. Le scénario retenu prend en compte des coulées pyroclastiques parcourant 10 km en direction du sud-est du sommet du volcan<sup>9</sup>. En conséquence, le plan prévoit deux mois d'évacuation pour les 4420 habitants recensés en zone KRB III. Grâce aux données récoltées par le biais du questionnaire PODUS en 2010, nous avons pu mettre en évidence une sous-évaluation d'environ 11% du nombre de personnes à évacuer indiqué dans les plans d'urgence<sup>10</sup>. Ceux-ci indiquaient que 50067 personnes étaient concernées dans les trois *kabupaten*. Nos propres données indiquent 5795 personnes de plus à évacuer (Tableau 22).

---

<sup>9</sup>La direction sud-est est indiquée dans le scénario proposé par le BPPTK, fourni en pièce jointe du plan d'urgence. Le plan indique quant à lui de façon erronée les directions nord-ouest, ouest et sud-ouest, tout en indiquant la bonne vallée (Woro). Il peut s'agir d'une simple erreur de rédaction, peut-être liée au recopiage direct du plan d'urgence d'un *kabupaten* situé à l'ouest ; ou d'un problème de référentiel géographique, le rédacteur pouvant considérer que les PDCs vont vers l'ouest par rapport à la capitale de Klaten.

<sup>10</sup>Les données indiquées dans les plans d'urgence sont issues du PODES de 2008. Une part de la différence que nous avons calculée pourrait être liée à la croissance démographique dans la zone, l'autre part étant une sous-estimation réelle du nombre de personnes à évacuer.



Tableau 22. Population affectée (située en zone KRB III) selon le scénario du plan d'urgence de 2009 et les données de population renouvelées via le PODUS en 2010.

<i>Kabupaten</i>	<i>Scenario</i>	<i>Kecamatan</i>	<i>Desa</i>	<i>Dusun</i>	<i>Pop (plan d'urgence 2009)</i>	<i>Pop (PODUS 2010)</i>	
<b>Sleman</b>	Coulées pyroclastiques de l'éruption de 1961 : - 12 km dans la rivière Gendol - 10 km dans la rivière Woro	Cangkringan	Glagaharjo	KalitengahLor	495	488	
				KalitengahKidul	319	321	
				Singlar	298	329	
				Srunen	303	412	
			Kepuharjo	Kaliadem	446	456	
				Petung	336	350	
				Manggong	260	255	
				Kopeng	399	386	
		Umbulharjo	Jambu	322	416		
			Batur	504	448		
		- 7-8 km dans les rivières Kuning et Boyong	Pakem	Hargobinangun	Kepuh	578	342
					Pelemsari	233	240
	Pangukrejo				579	730	
	Purwobinangun			KaliurangBarat	1112	1374	
			Boyong	867	796		
			KaliurangTimur	1083	1015		
	- 7-8 km dans la rivière Bedog	Turi	Wonokerto	Ngipiksari	850	978	
				Girikerto	Turgo	730	801
					Kemiri	586	625
	<b>Population totale affectée dans le kabupaten de Sleman</b>					<b>12660</b>	<b>13677</b>
<b>Magelang</b>	Coulées pyroclastiques des éruptions de 1961, 1967 et 1969 : - 10 km dans les rivières Putih et Blongkeng	Dukun	Ngargomulyo	Tous	2388	2424	
			Kalibening	Tous	2668	2576	
			Keningar	Tous	570	592	
			Paten	Tous	2955	3000	
			Sengi	Tous	4139	4152	
			Krinjing	Tous	2059	2190	
			Mangunsoko	Tous	1571	1578	
			- 15 km dans la rivière Bebeng	Srumbung	Kaliurang	Tous	2389
	Nglumut	Tous			888	791	
	Kemiren	Tous			1134	1168	
	Ngargosoko	Tous			2038	2152	
	Tegalrandu	Tous			2225	2246	
	Ngablak	Tous			2172	2207	
	Srumbung	Tous			947	3699	
	Mranggen	Tous			4242	4320	
	- 7 km dans la rivière Apu	Sawangan	Wonolelo	Klampahan	66	70	
			Ketep	Puluhan	504	567	
			Kapuhan	Wonogiri	32	678	
<b>Population totale affectée dans le kabupaten de Magelang</b>					<b>32987</b>	<b>36894</b>	
<b>Klaten</b>	Coulées pyroclastiques de 10 km de longueur en direction du sud-est à partir du sommet	Kemalang	Balerante	Tous	1339	1703	
			Sidorejo	Deles	1392	1308	
			Tegalmulyo	Tous	1264	2047	
			Kendalsari	Kaligentong	109	109	
				Kembangbener	124	124	
			<b>Population totale affectée dans le kabupaten de Klaten</b>				
<b>Population totale affectée dans les trois kabupaten</b>					<b>50067</b>	<b>55862</b>	



Outre un scénario d'aléa précis, un plan d'urgence doit prendre en compte l'ensemble des éléments nécessaires pour répondre à la crise, notamment la répartition des zones habitées et les routes d'évacuations. Cela doit permettre de trouver la meilleure façon de déployer les équipes de secours et d'évacuer les populations menacées. Or, les plans d'urgence de 2009 du Merapi ne faisaient figurer ni les routes d'évacuation, ni la répartition spatiale des camps de déplacés prévus (seulement leur recensement sous forme de liste). En utilisant les informations obtenues via le PODUS et les travaux de terrain, nous avons cartographié la répartition des camps de déplacés retenus par les plans d'urgence, ainsi que les routes d'évacuation et leur état.

L'organisation de l'évacuation des populations (au sein du village d'origine puis dans les camps de déplacés) décrite dans les plans d'urgence est à peu près semblable pour les trois *kabupaten* (Figure 40). Les véhicules utilisés sont fournis par des institutions propres à chaque *kabupaten* et complétés par ceux des populations des villages concernés. A Magelang par exemple, la gestion des évacuations est conduite par le Dinas Perhubungan (Bureau des Transports Publics), à Sleman par le Dinas PU (Travaux Publics) et dans les *kabupaten* de Klaten et de Boyolali par l'Armée.

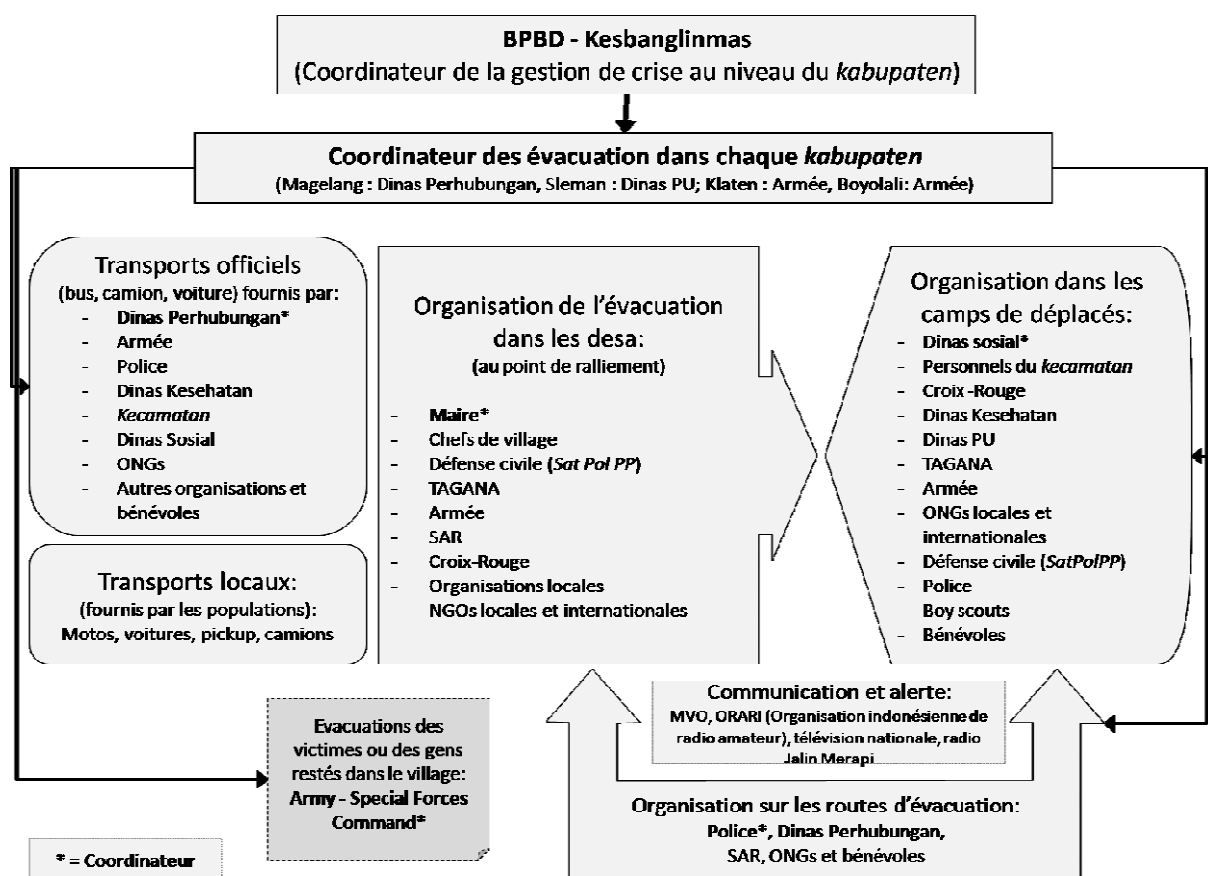


Figure 40. Organisation de l'évacuation des populations à l'échelle des kabupaten (Source : Mei et al, 2013).

### 1.1.2. Plan opérationnel d'évacuation à l'échelle locale

Un plan d'urgence ne peut être efficace que s'il est diffusé à l'ensemble des communautés. Le plan réalisé à l'échelle des *kabupaten* doit donc être traduit au niveau local en évaluant la situation *a minima* par *desa*, dans l'idéal par *dusun*. A ces échelles locales, les autorités doivent mettre en place des actions afin de minimiser les risques et favoriser les évacuations : travaux d'amélioration de l'état des routes, développement des moyens de transport, amélioration de la diffusion des informations relatives aux évacuations (routes d'évacuation, points de ralliements, affaires à préparer).

Sur les 91 situés en zone KRB III, nous n'avons recensé au cours de notre travail de terrain que 34 *dusun*, qui possédaient déjà des cartes locales contenant les itinéraires d'évacuation, la localisation des personnes vulnérables et les points de rassemblement pour les évacuations. Ces cartes ont été réalisées en collaboration entre les habitants et des ONGs : le PASAG Merapi (association communautaire fondée par des habitants des flancs du volcan), le Kappala UPN (association d'étudiants de l'Université Pembangunan Nasional de Yogyakarta), l'Université Gadjah Mada, et le centre de recherche sur les catastrophes de l'UPN avec l'OXFAM dans le cadre du Forum Merapi (Figure 41).

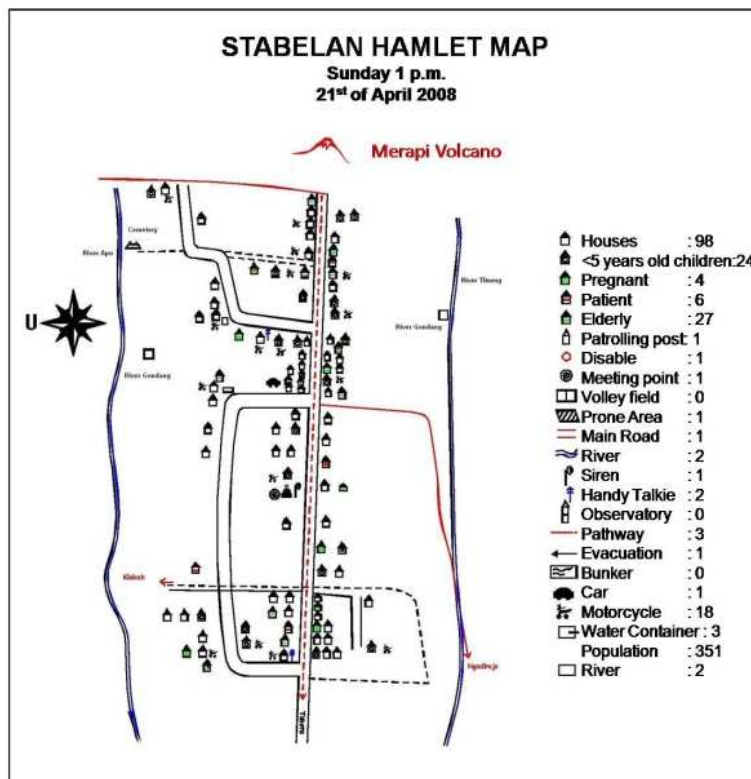


Figure 41. Exemple de plan d'évacuation à l'échelle du dusun de Stabelan, créé collectivement par le Forum Merapi. L'emplacement des personnes vulnérables, des points de ralliement, et les routes d'évacuation y sont indiqués.

Un élément important du plan opérationnel à l'échelle locale est le renforcement du lien entre les communautés et les gouvernements aux niveaux des *desa*, des *kecamatan* et des *kabupaten*. Au Merapi, le processus d'évacuation est généralement conduit par *dusun* ou par *RW* (RukunWarga-échelle inférieure à celle du *dusun*, équivalent d'un hameau). Le chef de *desa* transmet l'ordre d'évacuation aux chefs de *dusun*, qui le transmettent à leur tour aux chefs de *RW* et associations locales chargés de la diffusion de l'information auprès des populations. Les bénévoles sont alors regroupés en fonction de la tâche qu'ils ont à accomplir : évacuation, alerte, camp de déplacés, premiers soins (Figure 42).

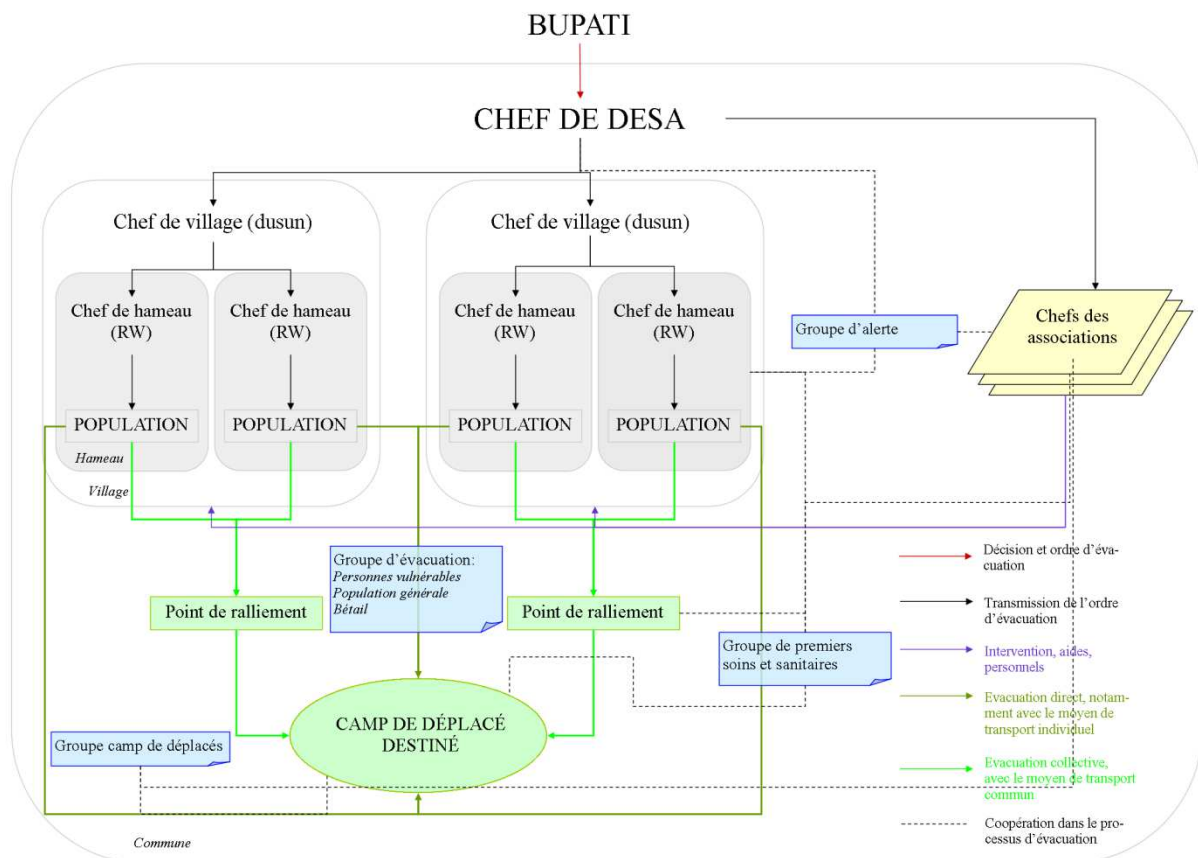
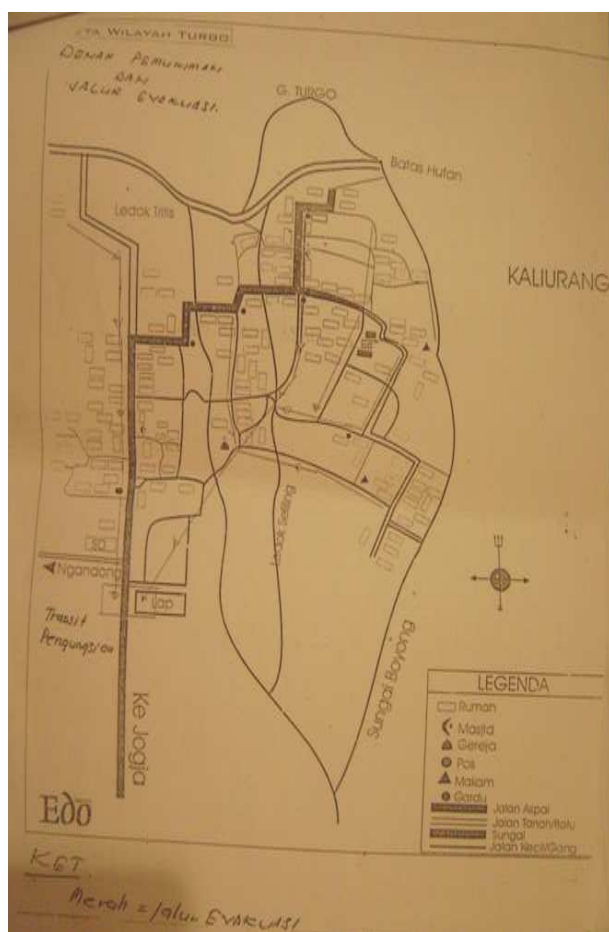


Figure 42. Procédure d'évacuation à l'échelle du desa

## Turgo : dusun résilient aux crises



Après l'éruption de 1994, qui a tué plus de 50 personnes, le gouvernement local et plusieurs ONGs ont entrepris de préparer ce dusun à faire face aux crises volcaniques. Un plan d'urgence local (Figure 43) a été établi en concertation avec les villageois, dont certains se sont investis bénévolement dans des organismes et associations : Relawan Kawastu (bénévoles du village de Turgo), Relawan Sibat (formés par la Croix-Rouge indonésienne), Relawan PASAG et Relawan KLM (bénévoles d'associations des Habitants des Flancs du Merapi), Relawan TAGANA (formés par le Département Social), et le SAR. Ce plan décrit le rôle des chefs de RW et bénévoles face à une crise : gestion de l'alerte, des évacuations (personnes vulnérables, population en général, et bétail), des camps de déplacés, premiers soins, etc. La radio communautaire «TURGO ASRI» (149.200 Mhz) est gérée collectivement pour informer les habitants. Un effort a également été porté sur l'amélioration des infrastructures, les routes d'évacuation, un poste d'observation (avec la participation de la Croix-Rouge danoise), des panneaux indiquant les routes d'évacuation et les points de ralliement, et un camp d'évacuation du bétail à Sudimoro.

Figure 43. Plan d'évacuation du dusun de Turgo

## 1.2. Mesures structurelles envisagées dans la préparation aux évacuations

### 1.2.1. Les systèmes d'alerte communautaire : complémentarité ou primauté ?

L'un des efforts importants pour l'atténuation du risque au Merapi a été la mise en place d'un système d'alerte officiel, établi par le gouvernement de chaque *kabupaten* et le BPPTK. Ce système d'alerte diffère selon le type d'aléa considéré (coulées pyroclastiques ou lahars) et n'est pas effectif dans tous les *dusun*. Dans le *kabupaten* Sleman, les sirènes pour alerter de l'imminence de coulées pyroclastiques ne sont déployées que dans cinq *dusun* : Kaliurang Timur, Kaliurang Barat, Gumuk Bol, Kinahrejo, et Kalitengah Kidul ; celles alertant de l'imminence de lahars se situent dans les *dusun* à l'amont et le long des rivières majeures : par exemple Turgo et Kemiri au bord de la Boyong, Kaliadem, Jambon, et Bronggang le long de la Gendol, Kaliurang (Magelang) au bord de la Krasak.

Un type de système d'alerte dit « communautaire » a été créé par les populations et/ou par les organisations locales en utilisant différents outils « traditionnels » et « sophistiqués » :

1) *Le kentongan, outil traditionnel de communication*

Cet outil de communication, qui prend la forme d'un gong en bois pendu à l'extérieur, est très répandu dans la société javanaise depuis plusieurs générations (Figure 44). Dans les régions rurales, presque chaque maison est équipée d'un *kentongan*. Il est utilisé comme moyen d'alerte en cas d'éruption volcanique, mais également pour informer d'un décès, vol ou incendie. Dans les zones à côté de la rivière Krasak par exemple, le *kentongan* est utilisé en cas d'inondation et ou de lahars. Les habitants du *dusun* en amont frappent le *kentongan* et le signal est relayé le long de la rivière par les habitants jusque dans les *dusun* situés plus en aval. Le son des *kentongan* est souvent appelé *lampor*. Dans la croyance javanaise, le *lampor* est lié au mythe selon lequel les «soldats» du Merapi sont entrain de se diriger vers la mer du Sud. Quand les villageois entendent le *lampor*, ils doivent s'éloigner de la rivière afin d'éviter la malchance (Sumiyati, 2007). Ce type d'approche culturelle dans le but de minimiser les conséquences d'un aléa naturel est très répandu dans les sociétés traditionnelles (Bode, 1977; Bode, 1989; Oliver-Smith, 1979; Oliver-Smith, 1996). Toutefois, quelques desa au nord-ouest du Merapi (par exemple Klakah ou Jrahah) refusent d'utiliser le *kentongan* en tant que système d'alerte en raison d'un autre mythe : en cas d'éruption, le bruit lié à son usage pourrait attirer les démons du Merapi, et donc les coulées pyroclastiques vers le village.



Figure 44. *Kentongan* a. devant une maison du village de Tangkil, commune de Ngargomulyo (photo : Sahrudin, 2010) b. dans un village à Java dans les années 30 (photo : Satake, 1935).

Plusieurs codes de *kentongan* sont utilisés en fonction du signal à diffuser (Figure 45). En cas d'événement volcanique (éruption ou lahar post-éruptif), le *kentongan* est tout d'abord frappé pour







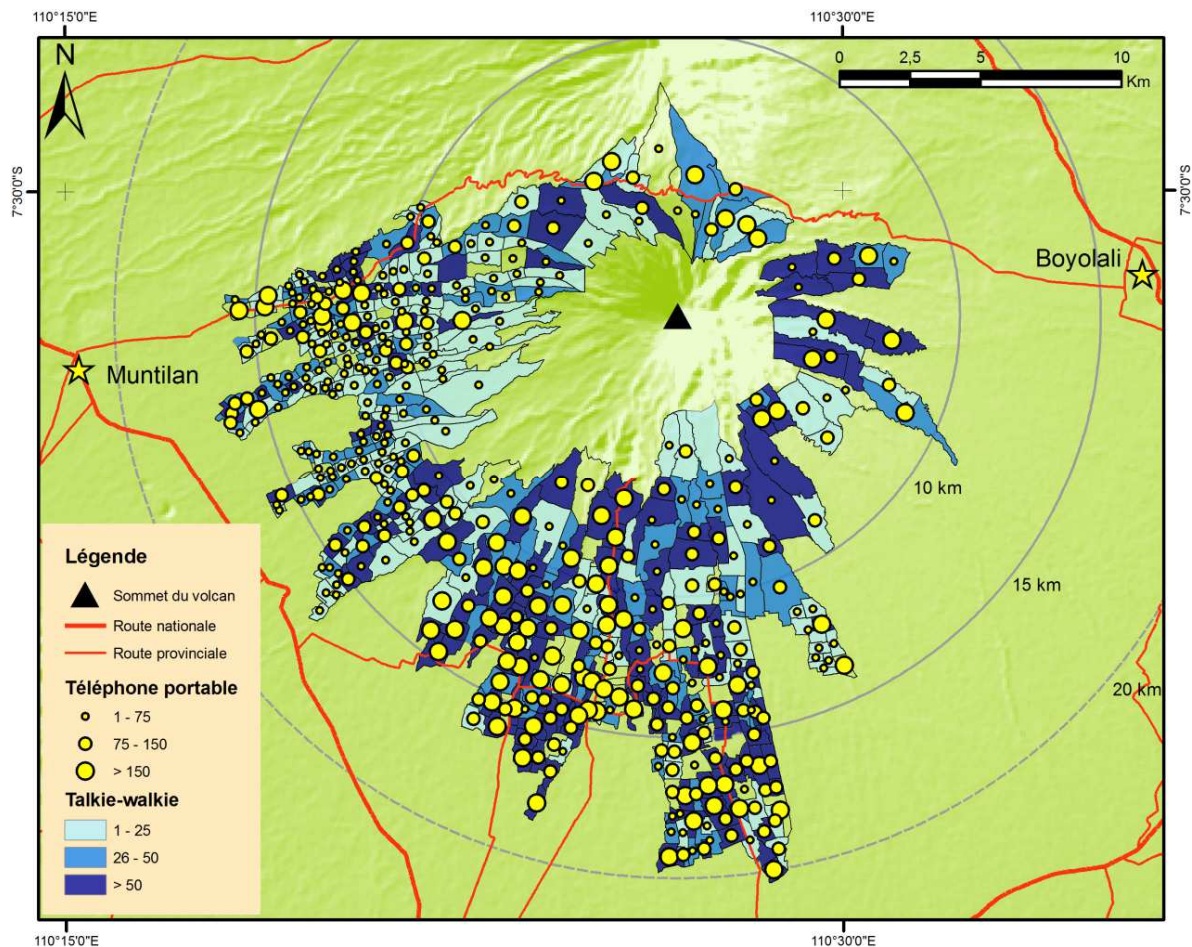


Figure 46. Distribution des téléphones portables et des talkies-walkies autour du Merapi (Modifié d'après des données de PODUS, 2010).

Après l'éruption de 2006, plusieurs associations sur les flancs du Merapi, comme Paguyuban Sabuk Gunung Merapi (PASAG), ou Komunitas Merapi and Paguyuban Saluran Komunikasi Sosial Bersama (SKSB), ont créé en collaboration avec le gouvernement des *kabupaten* un projet de réponse communautaire aux crises baptisé « *Community Emergency Response (CER)* ». Ces associations ont pour rôle de surveiller visuellement le Merapi et de communiquer leurs observations en utilisant des radios communautaires : *Radio Lintas Merapi (kabupaten Klaten)*, *Radio K (kabupaten Magelang)*, et *radio Merapi-Merbabu Community (kabupaten Boyolali)* (Figure 47). Lors d'une éruption volcanique, les informations transmises par les radios communautaires ne viennent pas seulement des jeunes de village, mais également du BPPTK, du corps de recherche et de sauvetage (SAR), de la Croix-Rouge indonésienne et des ONG locales autour du Merapi. Grâce à l'existence de ces radios, les villageois peuvent recevoir plus rapidement des informations qu'avant de tous les flancs du volcan, donc de réagir plus vite en cas d'éruption. Ces systèmes d'alerte communautaires sont ainsi constituent un outil supplémentaire très utile lors des crises d'origine volcanique du Merapi.

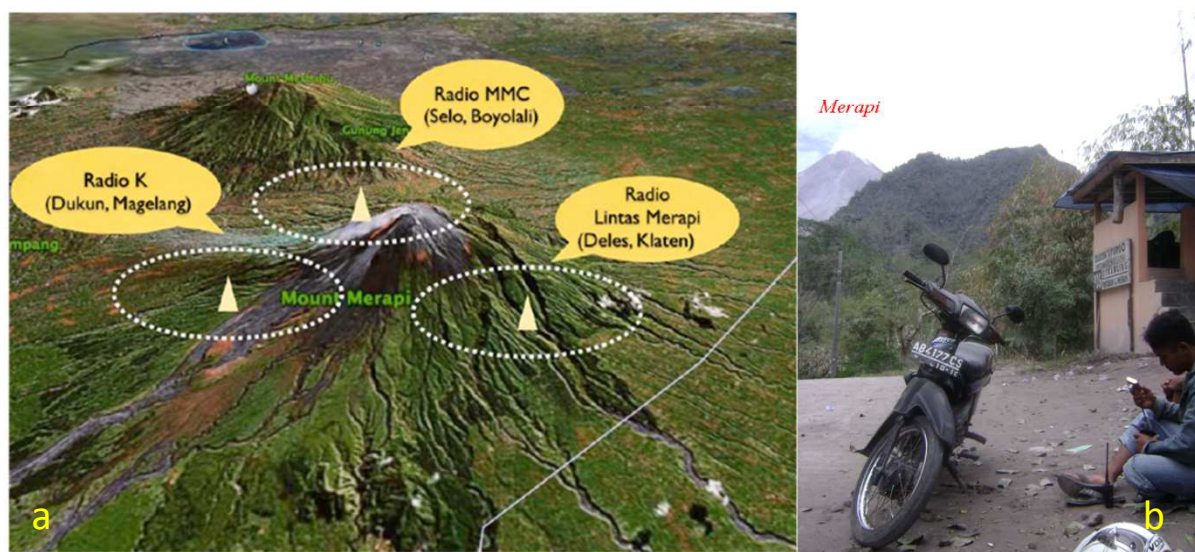
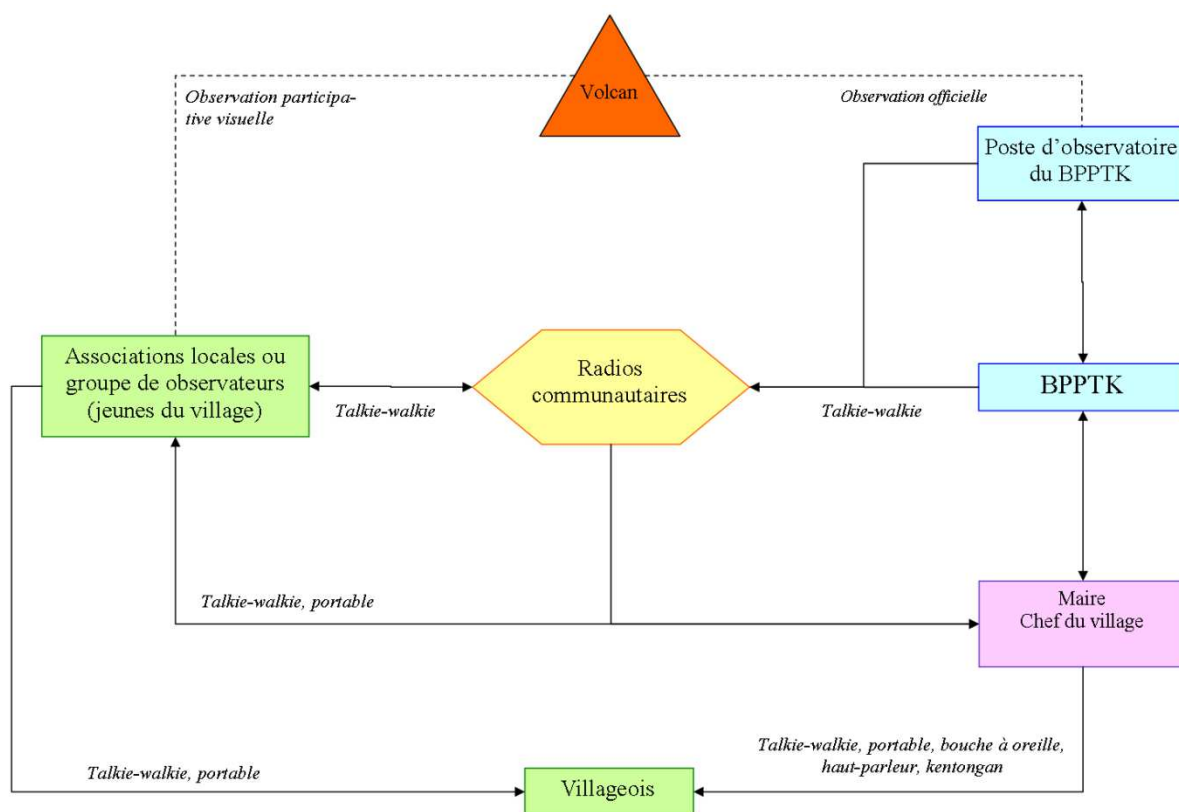


Figure 47. Transmission des informations lors d'une crise volcanique entre les villages du Merapi : (a) les radios communautaires (Source : Jalin Merapi, 2007) reçoivent des informations des (b) observateurs de terrain - ici à Turgo (Mei, 2010).

### 1.2.2. Infrastructures pour faciliter l'évacuation des populations

L'échec des évacuations lors de l'éruption du Merapi en 1994 a révélé un manque de préparation aux crises volcaniques (Mei, et al., 2012). Après l'éruption de 2006, les autorités locales ont commencé à aménager des infrastructures pour mieux faire face aux prochaines crises du Merapi, notamment à travers la mise en place ou l'amélioration de camps de déplacés, et de routes et panneaux d'évacuation dans les zones à risque.

- Camps de déplacés

Les camps de déplacés constituent un élément essentiel pour protéger les évacués lors d'une crise. Ils doivent à la fois fournir suffisamment d'espace pour accueillir les déplacés et disposer d'un bon niveau d'accessibilité afin de pouvoir acheminer l'aide humanitaire et l'assistance médicale (EMA, 2005). La plupart du temps, ces camps sont des bâtiments publics tels que les mairies, écoles ou salles communales. Au Merapi, les camps de déplacés disponibles, cartographiés en **Figure 48**, ne sont pas assez nombreux pour accueillir les populations évacuées face à une éruption telle que celle de 2010. Les valeurs fournies dans les plans d'urgence des *kabupaten* de Sleman et Magelang (**Tableau 23**), et celles obtenues à travers nos entretiens auprès des responsables du BPDB pour les *kabupaten* de Klaten et Boyolali, indiquent en effet des capacités d'accueil nettement déficitaires. Il manquait ainsi plus de 22 000 places d'accueil dans les seuls *kabupaten* de Magelang et Sleman. Or, les scénarios envisagés par les plans d'urgence de 2009 correspondaient à une éruption de faible intensité (VEI 3 maximum).



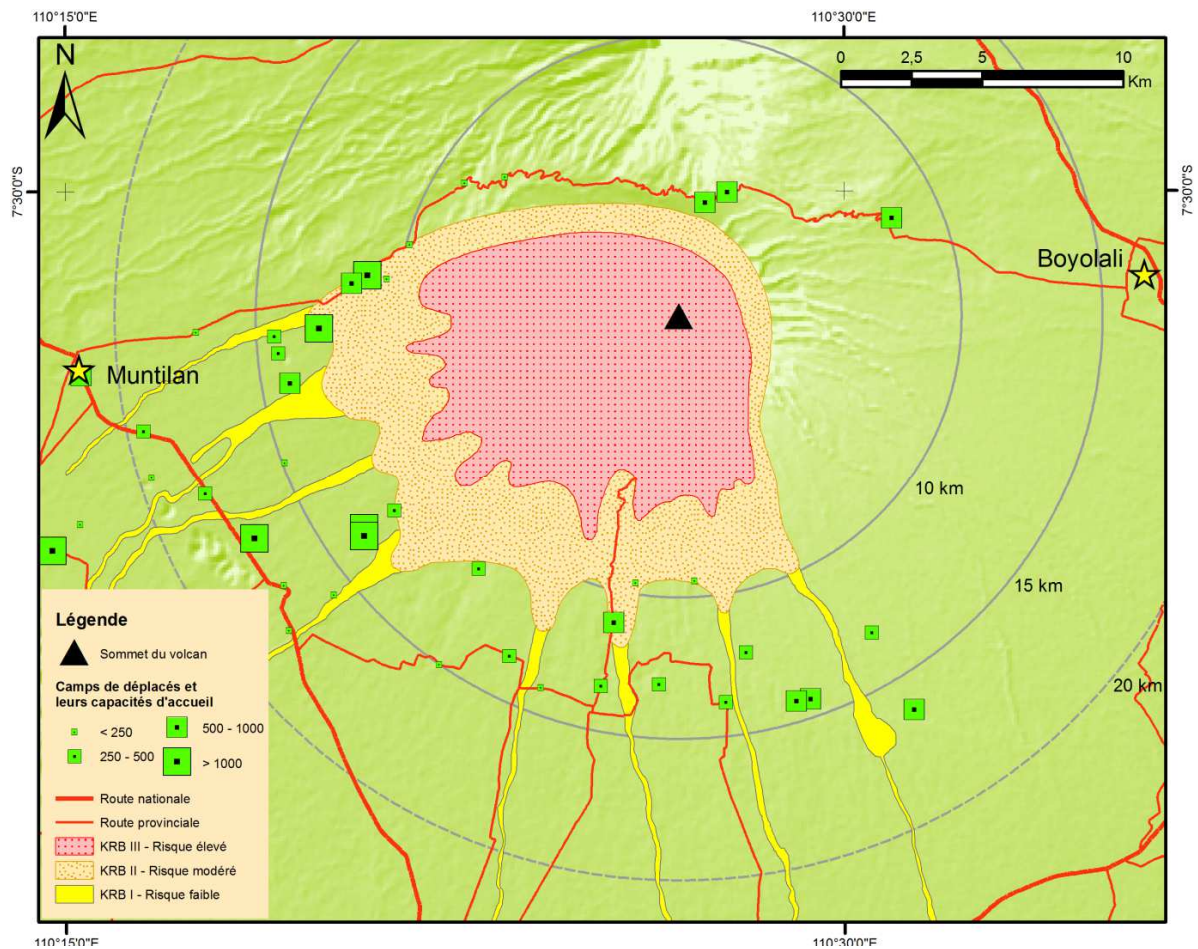


Figure 48. Répartition de camps de déplacés officiels au Merapi à la veille de l'éruption de 2010 (Sources : plans d'urgence des kabupaten de Sleman et Magelang et entretiens auprès des responsables du BPDB pour les kabupaten de Klaten et Boyolali).

Tableau 23. Capacité des camps de déplacés selon les plans d'urgence de 2009 des kabupaten de Sleman et Magelang

<i>Kabupaten</i>	Camp de déplacés	Capacité d'accueil	Capacité d'accueil totale	Nombre de déplacés prévus	Manque de capacité
<b>Sleman</b>	Candibinangun	245	3884	12660	<b>-8776</b>
	Purwobinangun	392			
	Hargobinangun	978			
	Pakembinangun	325			
	Argomulyo	294			
	Glagaharjo	375			
	Kepuharjo	225			
	Umbulharjo	225			
	Wukirsari	294			
	Wonokerto	185			
	Girikerto	346			
<b>Magelang</b>	Srumbung	2550	18650	32987	<b>-14337</b>
	Bringin	200			
	Sudimoro	200			
	Kamongan	500			
	Jerukagung - TPA	1200			
	Dukun	2350			
	Sewukan	200			
	Banyudono	400			
	Banyubiru	400			
	Ngadipuro - TPA	1000			
	Wonolelo	200			
	Ketep	200			
	Kapuhan	200			
	Krogowanan	600			
	Sawangan	2200			
	Gondowangi - TPA	200			
	Salam-TPA	200			
	Sucen	200			
	Jumoyo	2200			
	Gulon - TPA	400			
	Tamanagung - TPA	400			
Pucungrejo - TPA	400				
Gunungpring - TPA	200				
Congkrang - TPA	200				
Tanjung - TPA	1200				
Mungkid	650				
<b>Klaten</b>	<i>Absence de données dans le plan d'urgence</i>				

Ces capacités d'accueil limitées sont un problème d'autant plus sérieux que plusieurs aléas peuvent conduire de façon concomitante à devoir gérer un grand nombre de déplacés. Ainsi, en 2006, « *Beaucoup de tentes pour les déplacés ont été transférées pour aider les victimes du séisme du 26 mai à Bantul, à 25 km au sud du Merapi<sup>12</sup>, alors qu'il y avait une activité éruptive au Merapi. Par conséquent, il y a eu une pénurie de tentes et d'aide quand l'activité volcanique s'est soudainement accrue le 14 juin.* » (Asih Kushartanti, secrétaire du Kesbanglinmas du kabupaten de Sleman, interviewée en mai 2010).

A ces capacités limitées s'ajoute le manque d'entretien de certains camps (Figure 49) qui nuit aux conditions d'accueil, ce dont témoignent les habitants des flancs du Merapi au cours des entretiens :

« *Lors l'éruption de 1994, les conditions dans les camps étaient très désagréables, car il n'y avait pas assez d'espace ni d'équipements, mais à l'époque, le plus important pour nous, c'était notre sécurité. Nous n'avons rien emporté à part les vêtements que nous portions sur nous. Nous avons eu de la chance de pouvoir fuir du Merapi.* » (Sutirejo, 78 ans, habitante de Turgo, interviewée le 26 juin 2010).

Le manque d'entretien des camps conduit notamment à la dégradation des toitures et des sanitaires, susceptible de provoquer des problèmes d'hygiène et de sécurité en cas d'utilisation ultérieure du camp (fuites lors des pluies, risque accru d'effondrement du toit en cas de retombées de cendres, problèmes d'évacuation des eaux, etc.).

---

<sup>12</sup>Le 26 mai 2006, un séisme de magnitude 5.9 détruit partiellement la ville de Bantul, au sud de Yogyakarta, faisant environ 5 000 victimes.

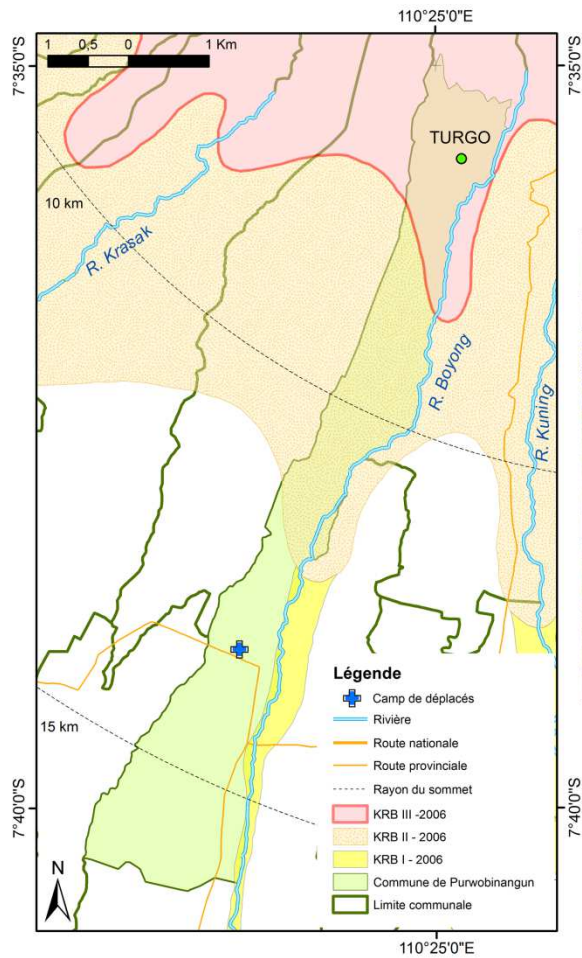


Figure 49. Camp de déplacés de Turgo situé à Purwobinangun (à 12 km du sommet du volcan), installé à l'époque de la colonisation hollandaise et non entretenu.

L'organisation des déplacements vers les camps est variable d'un *kabupaten* à l'autre. A Sleman et Klaten, les personnes évacuées sont dirigées directement vers les camps permanents de déplacés. A Magelang, où l'expérience des éruptions est plus fréquente et ancienne, l'organisation se fait à un double niveau en tenant compte d'une éventuelle évolution de l'activité. Les déplacés sont d'abord accueillis dans des camps temporaires (TPS) pour quelques jours, puis, en cas d'augmentation de la menace volcanique, sont transférés dans des camps permanents (TPA) situés à Muntilan et Mungkid (à 20 km à l'ouest du Merapi) (Figure 50).

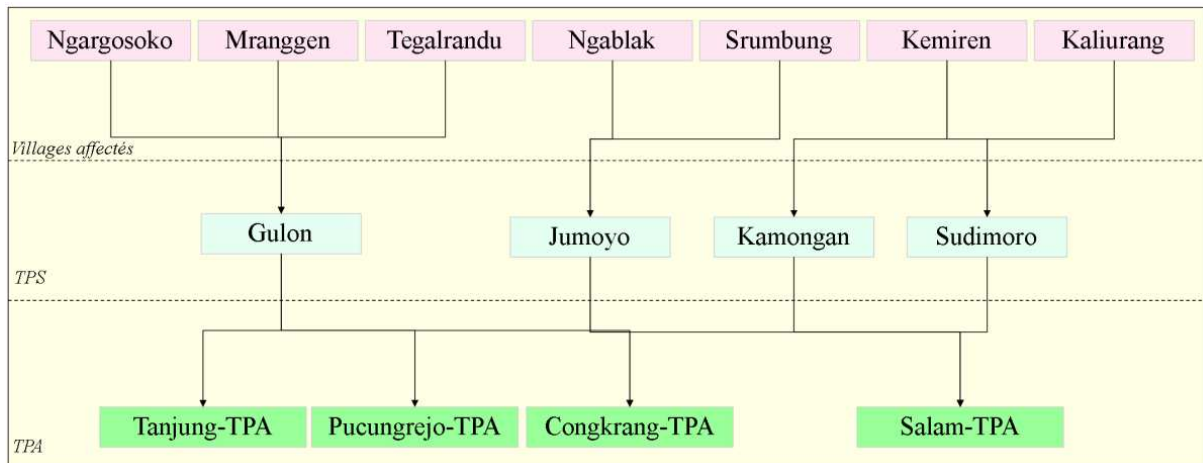


Figure 50. Organisation à double niveau des camps de déplacés dans le kabupaten de Magelang.

Afin de répondre au manque de capacité d'accueil, les gouvernements locaux installent des tentes sur des terrains situés près des camps. Cela constitue une solution peu coûteuse et facile à mettre en œuvre. Cependant, les tentes ne sont pas résistantes face aux pluies intenses ou pluies de cendres. Une alternative après 2006 a été de construire et/ou de réaménager des camps de déplacés à Kepuharjo et Hargobinangun (*kabupaten Sleman*), à Kaliurang et Ngadipuro (*kabupaten Magelang*), et à Ngemplak Seneng (*kabupaten Klaten*).

- Panneaux d'évacuation

Afin de faciliter le processus d'évacuation, le BPBD a placé des panneaux indiquant les routes d'évacuation et les points de ralliement dans les villages situés en zone KRB III (Figure 51). Ces panneaux informatifs sont utiles, notamment pour les personnes qui ne connaissent pas les dangers liés au volcan, par exemple les touristes ou les nouveaux villageois. Toutefois, leur contenu et le choix de leur emplacement ont été décidés par le BPBD, sans consultation auprès des populations locales. Ainsi, l'emplacement des panneaux officiels de point de ralliement ne correspond pas toujours aux points de ralliement définis de manière consensuelle au niveau local. Dans ce cas, les panneaux de ralliement ne sont pas utilisés. Un autre problème rencontré est l'entretien des panneaux d'évacuation, dont les communautés ne se chargent pas à partir du moment où elles n'ont pas été consultées. Selon nos entretiens, après une éruption, le niveau de sensibilisation au risque volcanique reste élevé pendant quelques mois, mais a tendance à diminuer au bout de quelques années. Pour pallier ce problème, une solution pourrait être d'inclure les communautés locales dans la réalisation et l'entretien des panneaux d'évacuation.





Figure 51. Panneau d'évacuation dans la commune de Ngargomulyo (Photo: Mei, 2010)

- Amélioration de l'état des routes

Avant l'éruption de 2010, les populations locales ont travaillé collectivement pour améliorer l'état des routes d'évacuation (Figure 52). Ces actions ont été partiellement financées par le Département des Travaux Public au niveau des *kabupaten* en fournissant du matériel pour asphalter (d'après un entretien avec Fauzan, chef de la section d'entretien des routes au département des Travaux Publics du *kabupaten* de Sleman, le 10 mai 2010). L'entretien des routes d'évacuation est devenu complexe suite à l'éruption de 2006 : leur état s'est dégradé en quelques années en raison du passage de nombreux camions d'exploitation des matériaux volcaniques notamment dans la partie sud-est du volcan, près des rivières Gendol et Woro (Mei, et al., 2012; De Bélizal, et al., 2011).

Face à ce problème, les efforts pour maintenir un réseau routier en bon état ne sont pas harmonisés autour du volcan. Par exemple, dans la commune de Ngargomulyo, les autorités locales interdisent l'extraction de sable sur leur territoire parce qu'elles s'inquiètent des conséquences de l'augmentation de la circulation des camions sur la route (entretien avec Yatin, maire de Ngargomulyo, le 28 Juillet 2010). A l'inverse, les villageois et collectivités locales dans le *kabupaten* de Klaten accordent moins d'attention à l'effet de la circulation des camions, l'extraction du sable étant considérée comme un secteur clé de l'économie (Mei, et al., 2012).

L'état global du réseau routier à la veille de l'éruption de 2010 sera présenté ultérieurement, comme partie intégrante des obstacles aux évacuations (cf. 2.3 p.143).



Figure 52. Travaux collectifs pour bitumer les routes d'évacuation (Detik Foto, 2010)

### ***1.2.3. Les SABO-dam : ouvrages de protection contre les lahars aggravant les effets des écoulements pyroclastiques***

Les lahars sont identifiés comme l'un des principaux aléas au Merapi (Lavigne, et al., 2000; Lavigne, 1998). Dans les années 1970, des *SABO-dam* ont été construits dans les vallées fluviales du Merapi afin de réduire les vitesses d'écoulement et retenir les sédiments (Lavigne, et al., 2002). Un *SABO-dam* est habituellement constitué d'une paire de barrages : le principal est voué à retenir les sédiments, le second à protéger le barrage principal contre l'affouillement (Sumaryono, 2011). Au Merapi, les barrages construits à l'amont des vallées sont destinés à retenir les blocs uniquement, laissant passer les sables et les graviers qui sont capturés dans d'autres structures en aval (Sumaryono, 2011). La construction de *SABO-dam* est complexe et coûteuse (De la Cruz-Reyna, et al., 2000), le Ministère des Travaux Publics a fait appel au soutien technique et financier du Japon. Il y a avait environ 200 *SABO-dam* autour du Merapi à la veille de l'éruption de 2010 (Figure 53). Ces structures, situées dans les zones de KRB III, II et I, ont permis de retenir les sédiments dans la partie amont des rivières. En conséquence, les dommages et les victimes liés aux lahars ont été limités depuis les années 1980 (Lavigne, et al., 2000; De Bélizal, et al., 2013). Néanmoins, depuis l'éruption de 2006, la construction de *SABO-dam* est beaucoup critiquée par le BPPTK. Des études ont en effet montré que les *SABO-dam* ont causé des changements de direction des PDCs et provoqué leur débordement dans des zones inattendues, par exemple à Kaliadem lors de l'éruption du Merapi en 2006 (Thouret, et al., 2010; Charbonnier, et al., 2008). Ces modifications doivent donc être prises en compte dans le zonage du risque et dans la planification des évacuations.

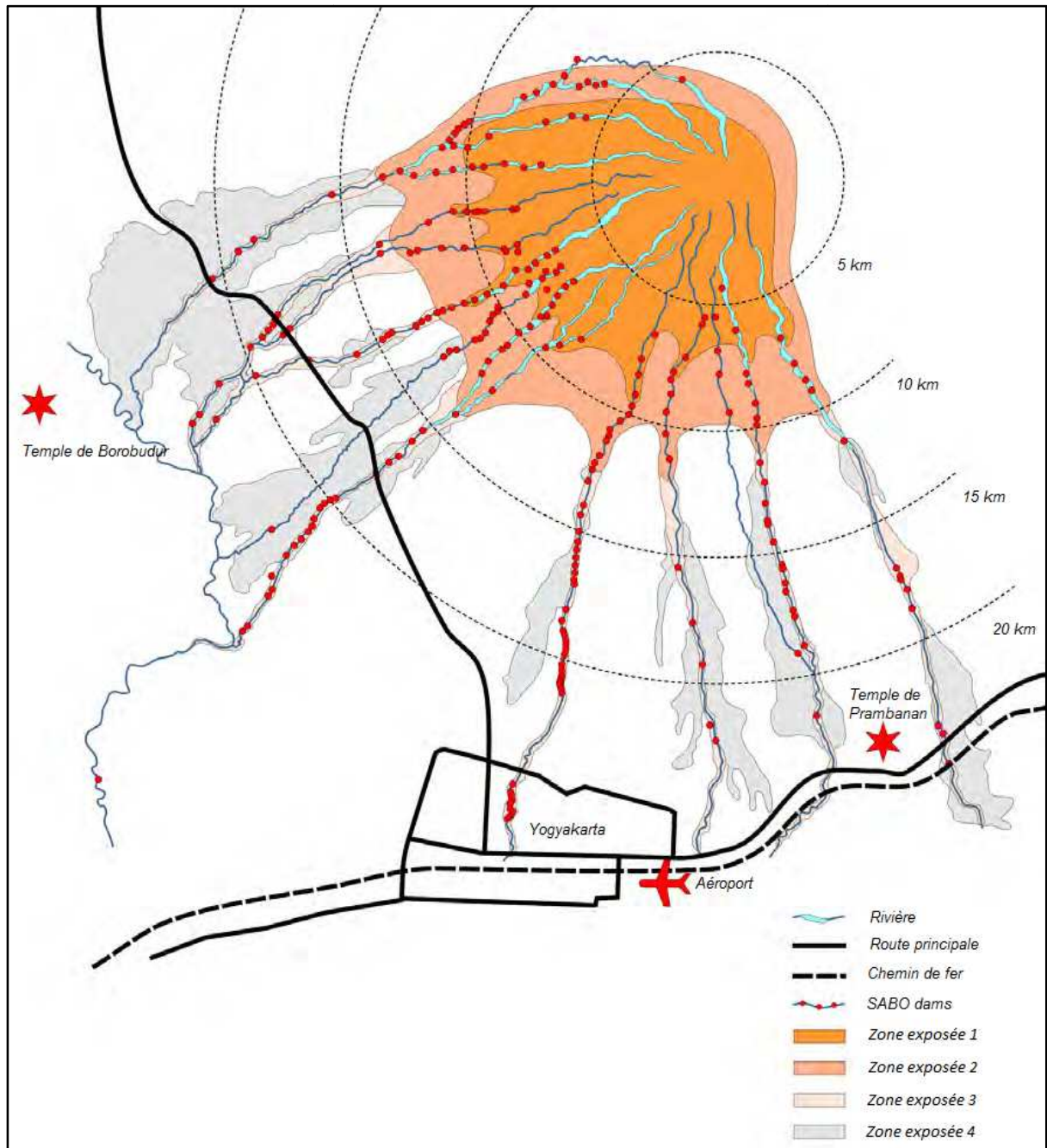


Figure 53. Répartition spatiale des SABO-dam autour du Merapi (modifiée d'après Sumaryono, 2011).

### 1.3. Mesures non structurelles destinées à la préparation aux crises volcaniques

Les mesures non structurelles sont les efforts visant à augmenter les capacités institutionnelles et communautaires pour faire face à des catastrophes d'origine volcanique. Les

mesures non-structurelles prennent majoritairement la forme de campagnes de sensibilisation et de formation des acteurs impliqués dans gestion des risques.

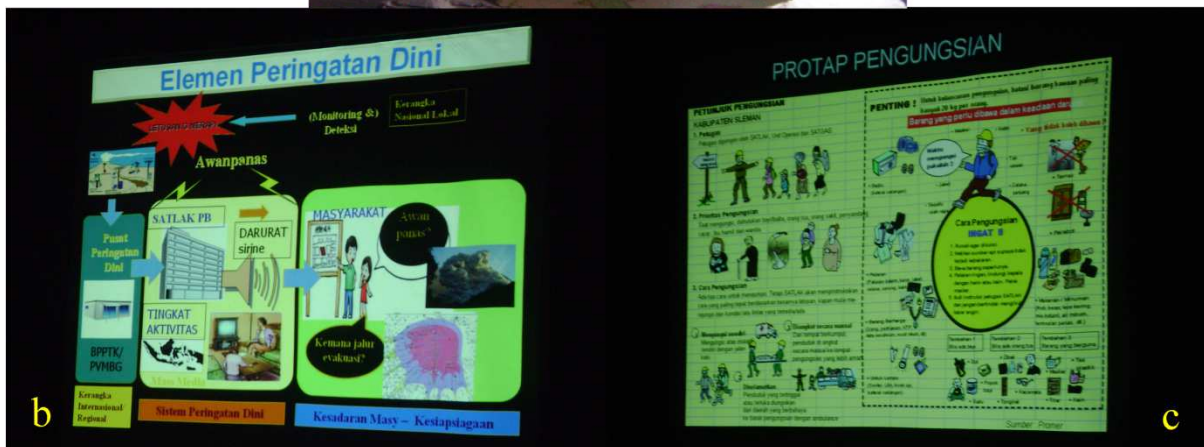
### **1.3.1. Programme de sensibilisation en zone KRB III**

Les gouvernements des *kabupaten* et le BPPTK ont organisé des réunions communales, ou « *socialisation* » (Figure 54.a), pour informer les habitants du niveau d'activité en cours du Merapi (Figure 54.b) et pour dialoguer avec eux des problèmes qui pourraient se poser lors d'une éruption et de la façon de les anticiper (Figure 54.c - qui décrit notamment le déroulement d'une évacuation). Cette activité de sensibilisation est menée dans les villages situés en zone KRB III au cours des périodes « *aktif normal* » (niveau d'alerte I) ou « *siaga* » (alerte II) (Sleman, 2009). Avant l'éruption de 2010, des campagnes de sensibilisation ont été effectuées au printemps et en été de 2010 dans 20 villages autour du Merapi, notamment à Turgo, Kaliurang Timur, Boyong, Balerante, Ngargomulyo, Suroteleng, Tlogolele, Kalitengah Lor, Kaliadem, Pelemsari, Boyong, Tunggularum. Notons qu'elles ont majoritairement été conduites selon une logique « *top-down* », les habitants recevant des informations des autorités, sans réciprocité de l'échange. Lorsqu'un dialogue a pu être établi, il a souvent été dominé par les maires, les chefs de *dusun* et ou de quartier (*RW*). Cette méthode est donc efficace pour véhiculer les informations sur les menaces volcaniques aux habitants, mais contestable en termes de recueil direct auprès des populations d'informations utiles à la gestion de crise. En effet, les communautés ont une expérience singulière des événements volcaniques, différente de celles des volcanologues et des autorités, et qu'il est nécessaire d'intégrer dans la préparation aux crises bien que ce soit pour l'instant rarement le cas.





a



b

c

Figure 54. Sensibilisation sur la réduction du risque d'origine volcanique : (a) auprès des villageois de Kaliurang Timur en présence du gouvernement du kabupaten de Sleman, du BPPTK et de l'Université Gadjah Mada en juillet 2010, (b) avec description du système d'alerte précoce (c) et du schéma d'évacuation (Photo : Mei, 2010).

### 1.3.2. Formations pour les gestionnaires des crises et les populations locales de la zone KRB III

Les formations à la gestion de crise sont fondamentales afin de bien préparer tous les acteurs à réagir correctement aux informations délivrées sur l'activité volcanique. Ces formations sont organisées à différentes échelles (*kabupaten*, *kecamatan* et commune), d'une part afin d'entraîner les acteurs à l'échelle à laquelle ils seront amenés à intervenir en cas de crise réelle, d'autre part afin de tester le système de façon multiscale (coopération entre acteurs intervenant aux différentes échelles). Des formations coopératives de ce type, appelées « *gladi posko* », ont été lancées au Merapi en collaboration entre le BPPTK, le gouvernement à l'échelle des *kabupaten*, les maires et les chefs de *dusun* situés dans des zones KRB III. Un exemple est le « *Gladi Posko Manajemen Kebencanaan* » qui s'est tenu au *kabupaten* Magelang en juillet 2010, dirigé par Kesbanglinmas Magelang, et regroupant 60 participants, dont les maires et les chefs des *dusun* situés en zone KRB

III. Les volcanologues et représentants des institutions concernées par la gestion de crise (Département Social, Département des Travaux Publics, Croix-Rouge indonésienne) ont été invités pour former les participants aux activités liées à une situation de crise : chaîne de commandement, interventions d'urgence et premiers soins. Ce type de formation peut également être utilisé pour identifier les faiblesses, menaces, opportunités et atouts de chaque acteur de la gestion de crise.

Dans de nombreux cas où les ressources du gouvernement et des services d'urgence sont limitées, la préparation individuelle et familiale peut être essentielle pour faire face à la crise (Carter, 1991). Au Merapi, l'absence de formation aux premiers secours des communautés locales, en particulier sur la façon d'aider les victimes brûlées par les PDCs, a été particulièrement sensible lors des dernières éruptions (Mei, et al., 2012). En 1994, plusieurs victimes sont mortes pendant leur transfert vers les hôpitaux situés dans le centre du *kecamatan* de Pakem (12 km au sud de Turgo) et dans la ville de Yogyakarta (20 km au sud de Turgo).

*« La plupart de villageois qui ont aidé les victimes de brûlures n'avaient pas connaissance des premiers soins à apporter. Les ambulances et les secours sont arrivés tardivement pour transporter les victimes. Le transport était vraiment difficile, à cause de la mauvaise qualité de route mais aussi du manque de véhicules pour évacuer les habitants vers les camps de déplacés. C'était la première fois que nous sommes confrontés à une situation de crise volcanique comme celle-là. » (Suwaji, 52 ans, ancien chef de village de Turgo, avril 2010).*

A partir de 1994, grâce aux retours d'expériences sur les éruptions du Merapi, des besoins en formation ont pu être exprimés. Plusieurs formations destinées aux bénévoles locaux et aux équipes de recherche et de sauvetage ont alors été réalisées par des ONGs et des universités<sup>13</sup> (par exemple *Santri Siaga Bencana* dans la commune de Ngargomulyo, *Kawastu* et autres formations délivrées par le MPBI et le PSMB dans le *dusun* de Turgo -Figure 55). Ces séances portaient sur les premiers soins, la connaissance des aléas volcaniques et des risques associés. En tant que villageois, les bénévoles, dotés de connaissances locales sur le territoire villageois et sur la répartition de la population vulnérable, apportent une valeur supplémentaire dans le système de protection civile, notamment pour la gestion des évacuations.

---

<sup>13</sup> Ces formations sont indifféremment réalisées à l'échelle des *desa* ou des *dusun* en fonction des préférences des acteurs qui les organisent : il n'y a pas d'harmonisation à l'échelle du massif du Merapi.



Figure 55. Formations(a) à la gestion communautaire du risque, par l'ONG « MPBI – Masyarakat Penanggulangan Bencana Indonesia » en avril 2010 (Photo : MPBI, 2010)(b) et aux premiers secours par le PSMB en 2008 (Photo : PSMB, 2008) dans le dusun de Turgo

### 1.3.3. Exercices d'évacuation

Le BPBDa également mis en place des exercices d'évacuation, intitulés « *Gladi Lapangan* », qui impliquent beaucoup plus de participants que les séances de sensibilisation. Cette méthode est destinée à préparer les villageois à faire face à une éruption volcanique. Elle permet également aux gestionnaires de crise de tester le plan d'urgence et d'évacuation existant et de vérifier l'efficacité du système d'alerte disponible. Plusieurs exercices ont été réalisés au Merapi. Ils peuvent être classés en trois catégories en fonction de leur ampleur (limites administratives et nombre de personnes concernées) :

#### a) Les exercices d'évacuation à l'échelle du *kabupaten*

Ils permettent de tester le délai de transmission d'une alerte, la capacité de réponse à l'échelle du *kabupaten*, et de régler les problèmes rencontrés. Ce type d'exercice a été effectué plusieurs fois au Merapi, notamment après l'éruption de 1994. Le plus important a été mené dans la commune de Kepuharjo, le 2 mai 2010, alors que le volcan était en niveau I. Plus de 2000 personnes ont été impliquées, regroupant des participants de la Police, l'Armée, le gouvernement du *kabupaten* Sleman, les *kecamatan* Turi, Cangkringan, Pakem, des villageois des communes situées en zone KRB III et quelques personnels de l'Armée américaine.

Il est important de prendre en compte le niveau d'alerte du Merapi avant de faire une simulation d'évacuation. Lors de l'augmentation du niveau d'alerte II (*waspada*) au III (*siaga*), fin octobre 2010, le BPBD a voulu organiser un exercice de ce type à Tlogolele et Klakah (communes du *kabupaten* de Boyolali situées en zone KRB III) pour un coût de 250 millions d'IDR. Cependant, de



nombreuses personnes, associations, etONGs, ont refusé cet exercice tardif qui n'était plus nécessaire :

*« Evidemment, nous refusons le projet de simulation d'évacuation parce que cette initiative n'est plus pertinente. Si le gouvernement voulait le faire, il aurait dû le faire quand le volcan était au niveau I (aktif normal) ou II (waspada). » (Y. Susila Hastuti, membre du Forum Merapi Boyolali, 24 octobre 2010, in Solopos (2010). « Nous demandons aux autorités locales de se concentrer plutôt sur la préparation des camps de déplacés, en particulier sur l'approvisionnement en tentes et en ravitaillement. Cela est beaucoup plus important que l'exercice d'évacuation. Quand le volcan est en niveau III, ce n'est pas raisonnable de faire un exercice d'évacuation. » (Yoyok Kurniawan, chef d'équipe de recherche et de sauvetage (SAR) Boyolali, le 24 octobre 2010, in Solopos, (2010)).*

#### b) Les exercices d'évacuation à l'échelle locale (commune ou village)

Cet exercice implique à la fois moins de gens par rapport à ceux menés à l'échelle du *kabupaten* et moins d'acteurs différents. L'exercice, souvent financé par des ONGs, est relativement facile à organiser et nécessite moins de ressources. Il permet de recenser la capacité et les besoins en transports locaux, le nombre de personnes vulnérables et les besoins particuliers d'assistance. Ce type d'exercice a été mené dans plusieurs communes ou villages dans les zones KRB III, par exemple au *dusun* de Tunggalurum le 20 janvier 2009, au *dusun* de Turgo en 2008, au *dusun* de Gemer en mars 2009 et dans la commune de Sidorejo le 22 octobre 2010.

#### c) Les exercices d'évacuation des écoles

Les écoles jouant un rôle très important dans l'éducation aux aléas et aux risques naturels (Johnston, et al., 1999), les gouvernements locaux, avec l'aide d'ONGs, ont réalisé des exercices d'évacuation dans quelques écoles au Merapi, par exemple au Lycée de Pakem « SMA Negeri 1 » le 29 mai 2010 et à l'école primaire « SD Jomblang » le 29 août 2010. Cetype d'exercice ne se limite pas à une action d'évacuation, il consiste également en la diffusion d'informations sur les risques en général et sur les comportements appropriés en cas d'éruption volcanique, par le biais de films, jeux, et concerts. Plusieurs études montrent que les enfants impliqués dans un programme d'éducation aux risques naturels transfèrent leurs connaissances à leurs familles (Johnston, et al., 1999).

Ces différents exercices sont très importants pour que les habitants se préparent aux évacuations. Cependant, en raison du budget élevé requis pour effectuer un exercice d'évacuation, les gouvernements locaux et les écoles ne peuvent en réaliser que rarement et/ou avec le support de donateurs, d'ONGs ou d'associations.

### **1.3.4. Diffusion d'informations sur les risques volcaniques au public en dehors des zones KRB**

Dans le but d'informer les populations résidant en dehors des zones à risque (KRB), le BPPTK et le BNPB ont monté une exposition à Yogyakarta en octobre 2010, pendant le « mois de la réduction du risque à l'échelle nationale », quelques jours seulement avant l'éruption du Merapi. Son but était de faire comprendre aux populations le rôle important de la science et la technologie dans la réduction du risque et les rôles des différents établissements travaillant sur les catastrophes d'origine naturelle. A cette occasion, les habitants ont pu engager un dialogue sur les risques et les crises volcaniques avec quelques institutions comme le BNPB, le BMKG, l'organisation nationale des radioamateurs, les universités (UGM, UPN Veteran). Malheureusement, l'éruption du 26 octobre 2010 s'est produite pendant l'exposition, démobilisant les institutions désormais occupées à gérer la crise.

## **2. Contraintes rencontrées dans la préparation des évacuations**

### **2.1. Une connaissance et une perception des risques volcaniques assez variées**

La perception des risques et de la préparation pour faire face aux crises déterminent le succès d'une évacuation (Carlino, et al., 2008). Afin d'appréhender la perception des risques et du système de gestion de crise par les habitants du Merapi, nous avons mené des discussions de groupe dans le *dusun* de Turgo et dans la commune de Ngargomulyo. De plus, un questionnaire a été distribué à 143 familles de Turgo pour évaluer leurs connaissances générales sur le volcan et la gestion du risque volcanique.

La connaissance et la perception de l'environnement peuvent varier en fonction de facteurs socio-économiques et socioculturels, tels que l'âge, le niveau d'éducation, le niveau de vie et les croyances culturelles (Lavigne, et al., 2008; MIA VITA Team, 2012). Au Merapi, la perception des aléas volcaniques par les communautés et leurs réactions face à une éruption sont influencées par leurs expériences (Texier, 2007; Lavigne, et al., 2008). Celles-ci diffèrent d'un village à l'autre et d'un groupe d'âge à l'autre. Par exemple, lors des FGDs au *dusun* de Turgo, le groupe constitué des personnes âgées et des adultes a principalement discuté de l'éruption de 1994, qui avait eu de forts impacts à Turgo (plusieurs maisons brûlées et 69 personnes tuées par les coulées et déferlantes pyroclastiques ; Figure 56), moins de celle de 2006. Ils ont affirmé qu'ils ne savaient pas ce

qu'étaient les PDCs et qu'ils n'avaient pas peur des éruptions avant celle de 1994. Ils se sentaient protégés par la colline de Turgo, qui cache le Merapi depuis le village, pensant que les aléas volcaniques ne pourraient pas dépasser ces collines. Ils se croyaient d'autant plus à l'abri, qu'avant l'éruption du 22 novembre 1994, le gouvernement local (Dinas PU) était en train de construire un SABO-dam dans la rivière Boyong, considéré par la communauté comme une protection contre les menaces volcaniques. En FGD, les jeunes ont quant à eux plutôt parlé de l'éruption de 2006. La majorité d'entre eux ont confirmé être conscients de la dangerosité du volcan et du potentiel léthal des aléas volcaniques, tout en affirmant que le risque volcanique dans leur village est relativement faible par rapport à celui encouru dans des villages situés à côté des rivières Gendol et Woro. Cette vision semble fondée sur leur expérience de l'éruption de 2006, au cours de laquelle Turgo a été épargné, alors que le village est en réalité inclus dans la zone KRB III dans le zonage KRB de 2006.



Figure 56. PDC dans la vallée de Boyong le 22 novembre 1994 vers 14-15h, observé depuis un point situé à 2 km à l'est de la colline de Plawangan (Photo de M. Mongin, 1994).

D'après les résultats des questionnaires auprès des villageois de Turgo, 97 % de répondants ont déjà vécu au moins une évacuation liée à une éruption du Merapi, notamment celle de 1994. Plus de 78 % de répondants sont d'accord pour dire que l'évacuation est nécessaire pour minimiser le nombre de victimes. Même si 72 % des répondants ont réclamé des retours au village lors des évacuations de 1994 et 2006, ils veulent être évacués en lieu sûr lors de la prochaine éruption. En

parallèle, ils demandent que le gouvernement assure la sécurité du village face au risque du vol de bétail et des biens lors des périodes d'évacuation.

Lors du FGD avec les personnes âgées dans la commune de Ngargomulyo, les participants ont plutôt discuté des crises volcaniques des années 1930 et 1960 et de l'ampleur des destructions. Ils savaient que les aléas du Merapi, en plus des lahars et des pluies de cendre, pouvaient prendre la forme de coulées pyroclastiques, car celles-ci avaient brûlé les forêts et les maisons dans les anciens *dusun* de BaturDhuwur et BaturNgisor. Ils étaient d'accord sur l'importance de l'évacuation pour limiter les victimes et les dégâts, mais au cours des différentes éruptions beaucoup l'ont « refusée » pour motifs économiques (par exemple nourrir les animaux et s'occuper de leur terrain agricole), retournant la nuit dans le village lors de la période d'évacuation.

Si les personnes âgées connaissent plusieurs types d'aléas volcaniques, les jeunes participants au FGD à Ngargomulyo évoquent principalement les lahars et pluies de cendre pour les avoir vécus lors des dernières éruptions. Ils n'ont pas de souvenirs des évacuations avant celle de 2006. Ils acceptent la nécessité d'évacuer en cas d'éruption tout en se disant gênés par le manque de moyens d'évacuation et le manque de confort dans les camps de déplacés.

## **2.2. Des contraintes démographiques**

### ***2.2.1. Une région avec une forte densité de population***

Grâce aux données de population de PODUS, complétées par les données statistiques PODES de 2010, nous avons pu recalculer le nombre d'habitants dans les zones KRB (selon la carte KRB de 2006) et dans les rayons de 10 km, 15 km et 20 km depuis le sommet du volcan (Tableau 24). Nous avons utilisé pour cela l'outil de *sélection par localisation* d'*ArcGIS*. Pour calculer le total de population dans les trois rayons depuis le sommet du volcan, nous avons dû utiliser les données PODES de 2010, car les données PODUS ne comportent que les villages situés en zones KRB III et II.

Tableau 24. Population située dans les zones à risque selon la carte KRB de 2006 et les rayons depuis le sommet du volcan.

Kabupaten	Population dans les zones à risque						
	KRB III (PdU)	KRB III (PdU*)	KRB II de 2006	KRB I de 2006	0-10 km	0-15 km	0-20 km
Sleman	12 660	13 677	34 151	21 415	58 114	108 154	359 755
Magelang	32 987	36 894	55 328	62 752	49 475	179 178	428 681
Klaten	4 420	5 291	6 871	5 029	18 944	66 688	214 263
Boyolali	-	7 280	6 659	0	102 280	216 879	333 186
Total	50 067	55 862	103 009	89 196	228 813	570 899	1 335 885

- *PdU = population à évacuer selon le plan d'urgence de 2009 ; PdU\* = population à évacuer selon le plan d'urgence de 2009 croisé avec les données PODUS de 2010 ; KRB II en 2006 = population en zone KRB II selon le zonage de 2006 ; KRB I en 2006 = population en zone KRB I selon le zonage de 2006. 0-10 km, 0-15 km, 0-20 km = population située dans les zones définies par les rayons 10, 15, et 20 km depuis le sommet.*

Le traitement des données extraites de PODUS et des données statistiques PODES a permis d'élaborer une carte de répartition de la densité de population autour du Merapi (Figure 57). Cependant, il faut noter que l'entité spatiale de données de PODUS et de PODES n'est pas identique. Les données PODUS se fondent sur l'échelle des *dusun*, tandis que les données PODES sont obtenues à l'échelle des communes. Sur la Figure 57, la densité de population augmente à l'inverse de la proximité du sommet. Nous observons que le flanc ouest est le plus peuplé dans la zone de rayon 15 kilomètres depuis le sommet. Cela est dû à l'existence de la ville de Muntilan et d'une route provinciale qui joint la province de Yogyakarta et la province de Java Centre. En outre, la riziculture est plus développée sur ce flanc que sur les autres, ce qui favorise des densités de population élevées. Cependant, le flanc sud-ouest du volcan n'est pas habité dans le rayon de 10 kilomètres en raison d'une planification raisonnée du territoire en lien avec les coulées pyroclastiques qui ont eu lieu dans cette direction des années 1930 jusqu'en 1994 (Figure 13) (PVMBG, 2009). Sur le flanc sud du volcan, la densité de population est forte, notamment le long de la Jalan Kaliurang route qui mène de Yogyakarta jusqu'à la zone touristique de Kaliurang, situé 7 km au sud du sommet. De nombreux établissements publics majeurs (universités, hôpitaux, etc.) sont par ailleurs implantés le long de cet axe. Leur forte fréquentation est à prendre en considération en cas d'évacuation diurne.

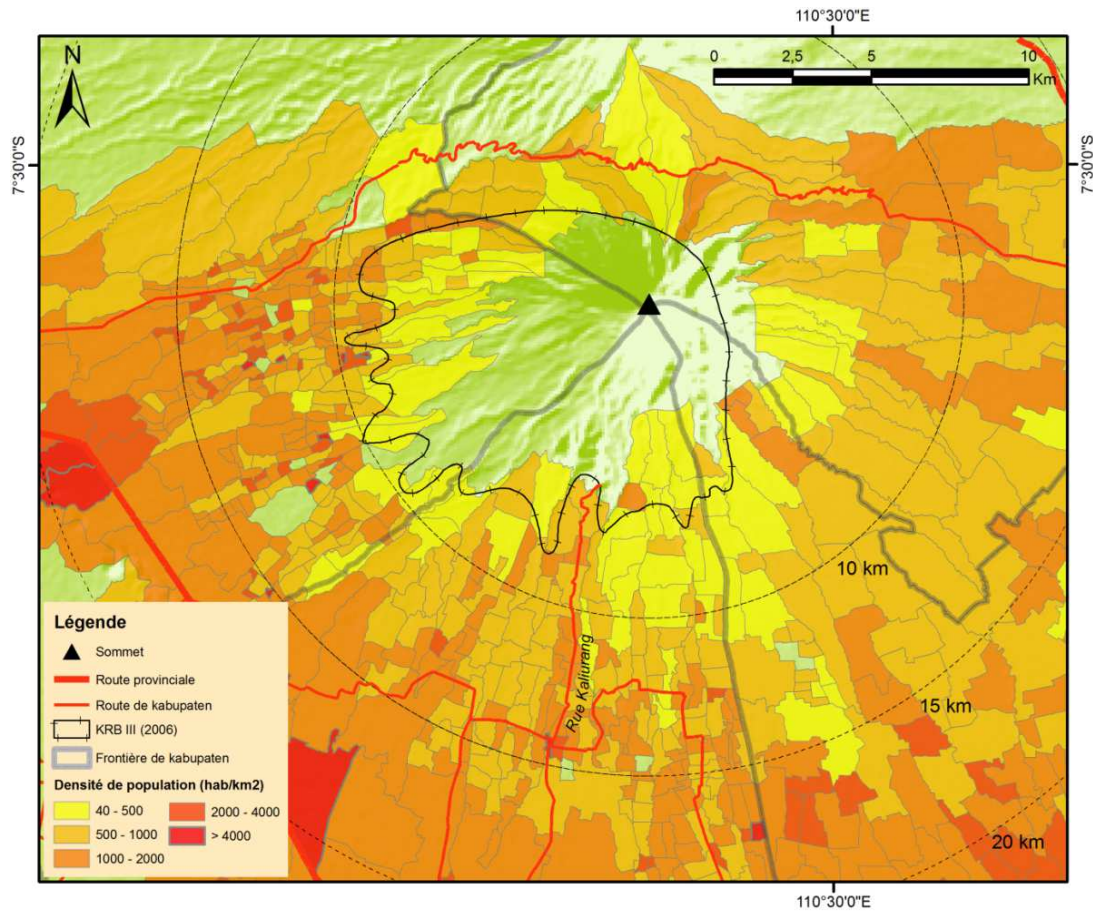


Figure 57. Densité de population au Merapi en 2009

### 2.2.2. Personnes vulnérables

Selon les plans d'urgence des *kabupaten*, les personnes vulnérables incluent les femmes enceintes, les enfants de moins de 10 ans, les personnes âgées de plus de 55 ans et les personnes handicapées. Les données sur les personnes vulnérables en zones exposées ne sont pas toutes disponibles dans les trois plans d'urgence des *kabupaten*. Grâce aux résultats de PODUS, nous avons donc pu calculer le nombre de personnes vulnérables dans les zones KRB III, à l'exception du nombre de femmes enceintes (Tableau 25).



Tableau 25. Nombre de personnes vulnérables recensées dans le Plan d'Urgence (PdU) à l'échelle des kabupaten et d'après les données PODUS

Personnes vulnérables	Sleman		Magelang		Klaten	
	PdU	PODUS	PdU	PODUS	PdU	PODUS
Femmes enceintes	43	-	394	-	67	-
Enfants moins de 10 ans	2547	2217	3681	4610	Pas de données	906
Personnes âgées plus de 55 ans	Pas de données	2558	Pas de données	8913	Pas de données	1154
Personnes handicapées	100	109	Pas de données	607	Pas de données	19

Les personnes vulnérables sont censées être évacuées les premières dès qu'un ordre d'évacuation est donné. Cependant, en raison des besoins spéciaux dans le processus d'évacuation (par exemple véhicule spécial pour le transport) et dans le camp de déplacés (notamment un espace de vie distinct de celui des autres déplacés), l'évacuation des personnes vulnérables, en particulier celles qui ont des limitations fonctionnelles, n'est pas facile à exécuter. Grâce aux résultats de PODUS, les ambulances ou les véhicules adaptés pour évacuer les handicapés peuvent être dirigés vers des régions avec une forte concentration de personnes handicapées, par exemple dans les secteurs ouest (*kecamatan* de Sawangan), sud-ouest (*kecamatan* de Pakem et Turi) et sud-est (*kecamatan* de Cangkringan) (Figure 58).



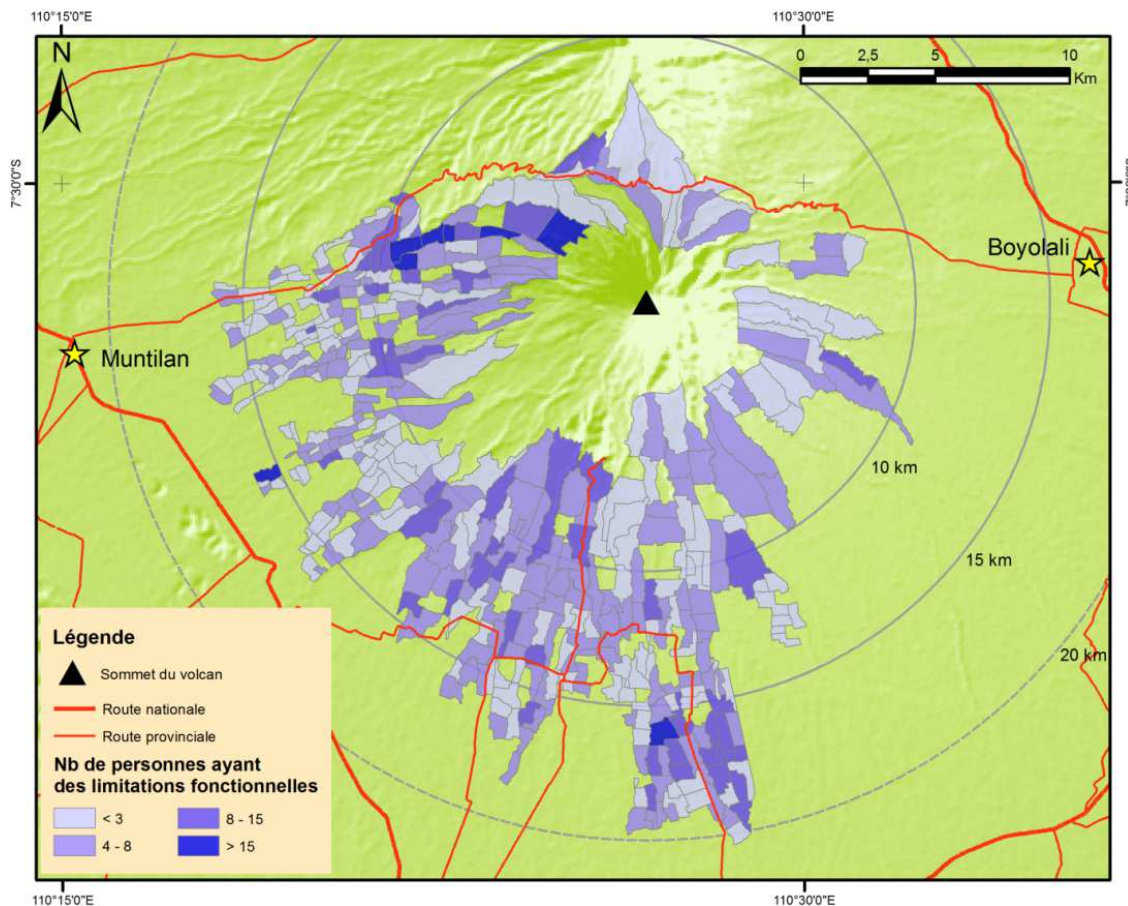


Figure 58. Localisation des personnes ayant des limitations fonctionnelles (handicapés mentaux et physiques).

### 2.3. Obstacles liés au transport : une vulnérabilité fonctionnelle

#### 2.3.1. Des réseaux routiers peu adaptés au bon déroulement des évacuations

L'état des réseaux routiers joue un rôle essentiel dans la réussite des évacuations (Jotshi, et al., 2009). Lors des FGDs et entretiens, les habitants de Turgo et de Ngargomulyo ont souligné que la mauvaise qualité des routes avait été une des difficultés majeures dans la gestion des évacuations lors de l'éruption de 1994. Les voitures et les ambulances n'ont pas pu accéder aux villages car les routes étaient petites, sinueuses, et très boueuses à cause des cendres volcaniques et de la pluie. C'est seulement depuis 1998 que le gouvernement a décidé d'améliorer l'état des routes d'évacuation.

Dans notre recherche, les routes ont été classées en trois types d'état : bon, moyen, mauvais (Figure 59, p. 145). L'état des routes provinciales et départementales est globalement bon (Mei, et

al., 2013) et les routes locales reliant chaque commune sont pour la plupart asphaltées. On note que les routes situées dans la partie sud-ouest du volcan sont dans un meilleur état (Figure 59).



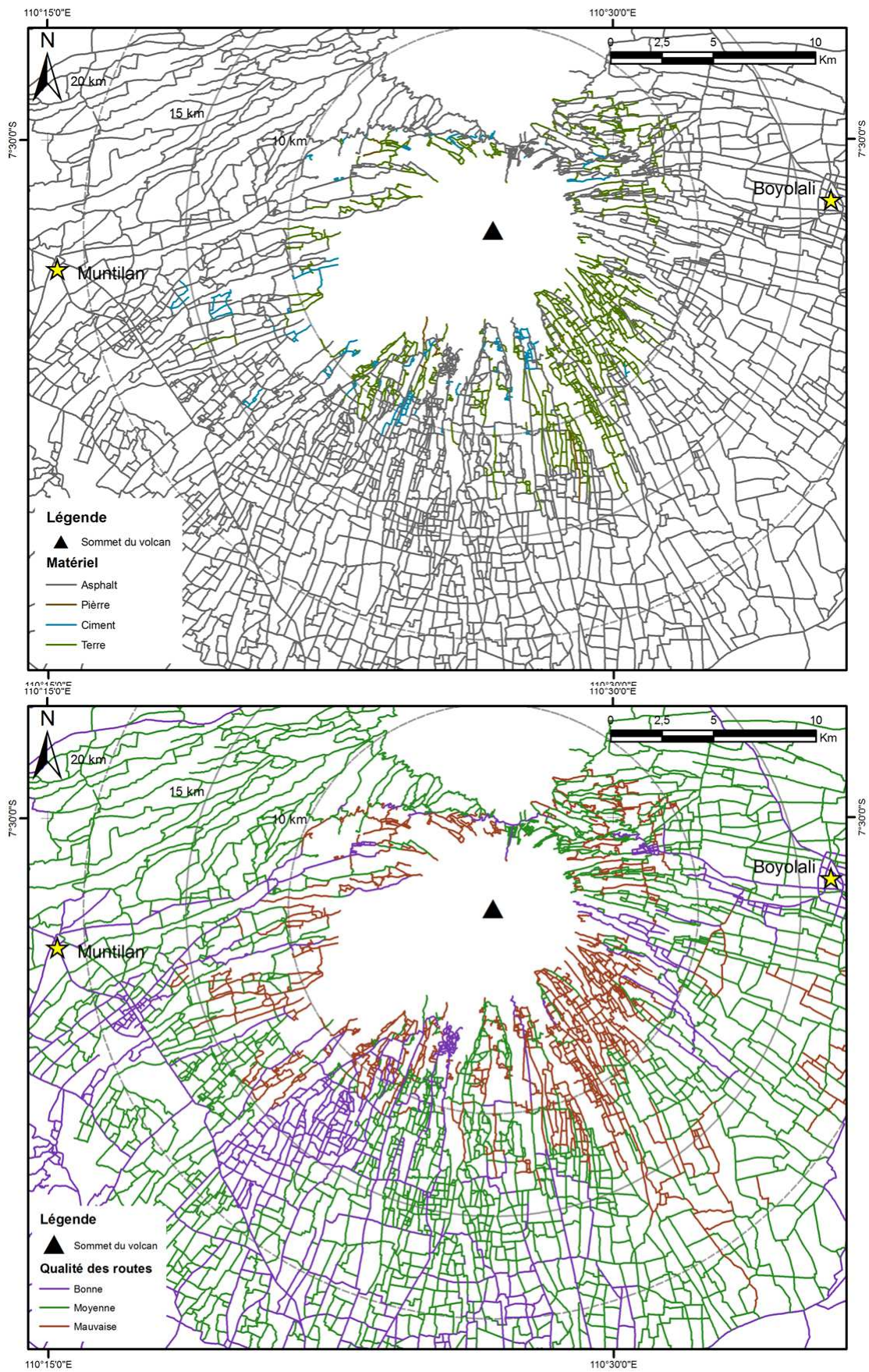


Figure 59. Matériel et qualité des routes sur les flancs du Merapi à la veille de l'éruption de 2010 (source : relevés de terrain).



### Turgo : un réseau routier inadapté aux évacuations

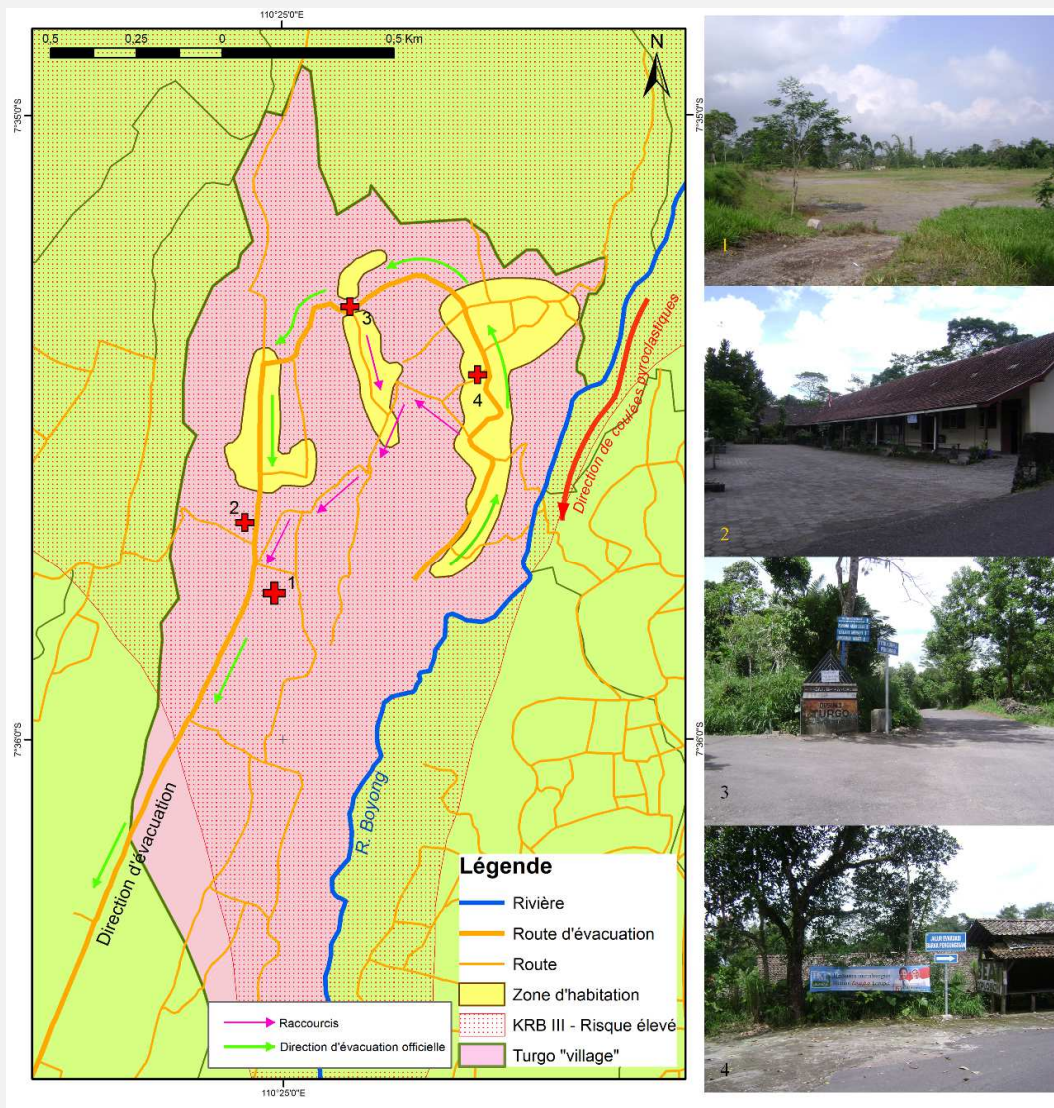


Figure 60. Routes d'évacuation et points de ralliement (1-4) à Turgo

Les routes principales au village de Turgo sont en relativement bon état et asphaltées. La largeur de la route principale, qui est aussi la route d'évacuation officielle, est d'environ 3 mètres, mais avec des pentes très variées (par exemple la pente de la rue près de la station de surveillance du volcan est de 30%). L'état de cette route principale du village est adapté pour réaliser une évacuation dans de bonnes conditions. Cependant, quand on examine le risque volcanique (notamment la direction des coulées pyroclastiques qui pourraient avoir lieu le long de la rivière Boyong), la route d'évacuation apparaît inappropriée car elle est perpendiculaire à la rivière et elle amène certains habitants à faire une boucle les rapprochant momentanément du Merapi. Ainsi, 35 % des répondants aux questionnaires à Turgo ont ainsi indiqué qu'ils ne voulaient pas prendre la route d'évacuation officielle pour une question de sécurité. Une autre route d'évacuation, cimentée et d'une largeur de 2 mètres, traverse le milieu du village et amène les habitants vers le point de ralliement 1. Toutefois, l'état de cette route n'est pas adapté à une évacuation en moto ou voiture car elle est petite, très sinueuse, escarpée et recouverte de mousse par endroits.

### 2.3.2. *Limitation des moyen de transport locaux*

D'après le résultat des FGDs, le problème du manque de moyens de transport s'est toujours posé pendant les éruptions du Merapi : des centaines d'habitants de Turgo ont par exemple dû partir pendant l'éruption de 1994 sans attendre l'aide du gouvernement. Le résultat des questionnaires auprès des habitants de Turgo indique que la majorité des habitants (90%) a quitté le village à pieds sans emmener de biens personnels (vêtements, nourriture, documents importants) jusqu'aux camps de déplacés situés près de la mairie de la commune (à 8 km du village de Turgo). Lors de l'éruption de 2006, en revanche, la plupart des villageois (79%) ont pris leur moto pour évacuer, ce moyen de transport s'étant généralisé pendant la dernière décennie.

Selon les plans d'urgence des *kabupaten* de Sleman, Magelang et Klaten, il y a cinq types de véhicules pour effectuer les évacuations : voiture, pick-up, camion, moto, et ambulance. Le nombre de moyens de transport désigne le nombre de véhicules locaux disponibles dans chaque commune et le nombre de véhicules officiels disponibles dans les institutions concerné est elles que le Département des Travaux Publics, la Police, l'Armée, le Département de Transport, et les *kecamatan*. Cependant, il n'y a pas d'analyse sur la capacité de transport dans les plans d'urgence. Nous avons donc calculé cette capacité en nous basant sur le scénario décrit dans le plan d'urgence de 2009 (Tableau 22) et sur l'hypothèse qu'une voiture peut transporter en moyenne six personnes, un pick-up 10 personnes, un camion trente personnes, une moto trois personnes, et une ambulance cinq personnes. Le résultat indique un manque de moyens de transport dans le *kabupatende* Magelang, où 3322 personnes ne peuvent pas être immédiatement évacuées (Tableau 26).

Tableau 26. Capacité de transport selon les plans d'urgence de 2009 pour chaque kabupaten. L'excès et ou le manque de capacité est calculé selon le nombre de personnes à évacuer et la capacité totale de transport (le symbole « + » en vert signifie le surplus, « - » en rouge la carence).

	<i>Kabupaten</i>	Klaten	Magelang	Sleman	Total
<b>1</b>	Voiture	39	1388	229	1656
	Capacité de transport (1 voiture pour 6 personnes)	234	8328	1374	9936
<b>2</b>	<i>Pick-up</i>	81	532	44	657
	Capacité de transport (1 <i>pick-up</i> : 10 personnes)	810	5320	440	6570
<b>3</b>	Camion	67	12	88	167
	Capacité de transport (1 camion : 30 personnes)	2010	360	2640	5010
<b>4</b>	Moto	744	5214	2911	8869
	Capacité de transport (1 moto : 3 personnes)	2232	15642	8773	26607
<b>5</b>	Ambulance	7	3	5	15
	Capacité de transport (1 ambulance : 5 personnes)	35	15	25	75
	<b>Capacité totale</b>	<b>5321</b>	<b>29665</b>	<b>13212</b>	<b>48198</b>
	<b>Nombre de personnes à évacuer (selon le plan d'urgence de 2009)</b>	<b>4420</b>	<b>32987</b>	<b>12660</b>	<b>50067</b>
	<b>Surplus ou carence de capacité</b>	<b>+901</b>	<b>-3322</b>	<b>+552</b>	<b>-1869</b>

Nous avons également calculé la capacité de transport local en tant que ratio entre les véhicules locaux disponibles et le nombre total d'habitants dans chaque village obtenu par le questionnaire PODUS. Un taux de capacité de transport du village égal ou supérieur à 100 %, signifie que le village peut engager une évacuation sans attendre l'aide du gouvernement local. La Figure 61 atteste d'une capacité de transport local insuffisante dans de nombreux villages, surtout ceux situés au nord-ouest du volcan (*kabupaten* de Magelang).



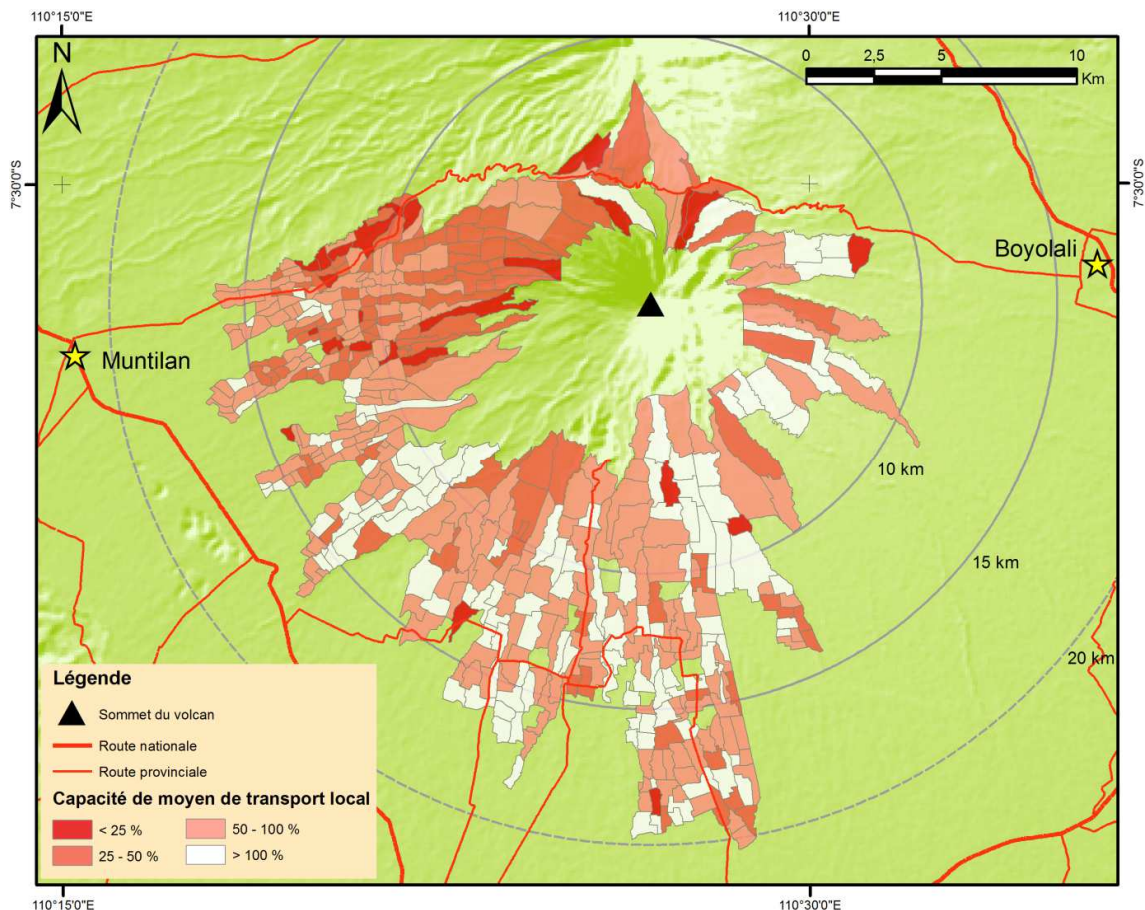


Figure 61. Capacité d'évacuation (ratio moyens de transport disponibles / population à évacuer). Seuls les villages en blanc ont une capacité d'évacuation par transports locaux suffisante.

Dans le *kabupaten* de Magelang, il y a pourtant plus de moyens de transport en commun que dans les autres *kabupaten* mais celui-ci est aussi peuplé. Chaque jour, il y a au moins un ou deux allers-retours de petit bus ou voitures, les « *angkutan desa* », qui transportent les villageois et leurs récoltes de chaque commune à la ville de Muntilan. Dans les *kabupaten* de Sleman et Klaten, les « *angkutan desa* » sont rares car les habitants ont leurs propres véhicules- le plus souvent des motos - pour se déplacer.

Dans les régions rurales, la moto est beaucoup plus accessible pour plusieurs raisons. D'abord, la qualité des routes qui n'est pas toujours bonne et adaptée pour les véhicules ayant plus de deux roues. La moto est beaucoup plus pratique pour aller dans les fermes, terrains agricoles ou au marché en ville. La moto est également beaucoup plus économique, le coût d'un trajet en moto est inférieur à celui d'un trajet en transport en commun. Par ailleurs, aujourd'hui, de plus en plus de vendeurs de motos offrent la possibilité d'un paiement crédit à un taux accessible pour les villageois.



## 2.4. Facteurs socioéconomiques et socioculturels de la vulnérabilité

### 2.4.1. Un secteur économique primaire favorable à la densité de population et défavorable à l'acceptation des évacuations

Les activités liées à l'exploitation de ressources naturelles, telles que l'agriculture et l'exploitation du sable, sont très répandues au Merapi (Figure 62). Les données de PODUS montrent que la majorité des habitants sur les flancs du volcan sont des agriculteurs (67%). La Figure 63 illustre le fait que les agriculteurs sont situés plutôt dans les secteurs nord, nord-ouest et nord-est du volcan. La plupart d'entre eux sont propriétaires de leur maison et de leur terre, qu'ils ont héritées de leurs parents. Ils produisent des cultures vivrières et rudimentaires.



Figure 62. Activités économiques dans le secteur primaire au Merapi

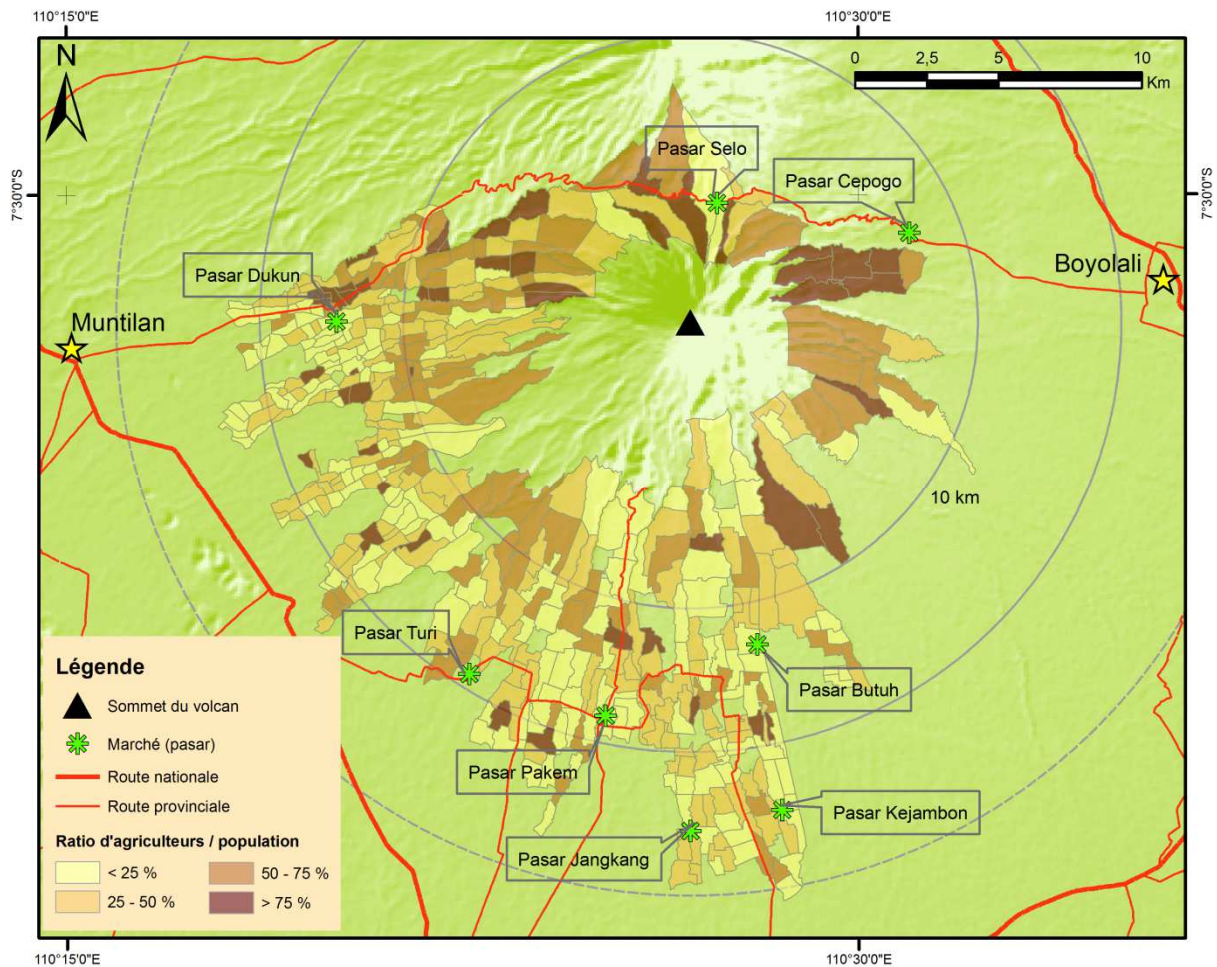


Figure 63. Ratio d'agriculteurs par rapport à la population totale et répartition des marchés autour du volcan

Le bétail est un mode d'épargne ainsi qu'une source principale de revenu quotidien (notamment les vaches laitières). Avant l'éruption du Merapi en 2010, la population de vaches laitières dans le district de Sleman atteignait 4 858 bêtes (BPS, 2009). C'est le principal centre de production de lait de vache autour du Merapi, avec une production quotidienne moyenne de 14,2 tonnes. Cette activité occupe 1605 foyers. L'élevage ayant un rôle prépondérant dans la vie des villageois, ceux-ci sont prêts à s'exposer aux menaces volcaniques pour pouvoir continuer à nourrir leurs animaux. En tant qu'épargne, le bétail peut être vendu quand les villageois ont besoin de faire face à des dépenses supplémentaires, par exemple en raison d'une mauvaise récolte, d'une fête (mariage, fête religieuse), au début de l'année scolaire, ou pendant une période d'évacuation lors d'une éruption volcanique. On constate que le nombre de têtes de bétail augmente selon un gradient altitudinal (Figure 64), les zones les plus élevées étant également les plus rurales, et dotées d'un climat plus favorable aux bovins. En cas d'éruption, un grand nombre de bêtes doivent donc potentiellement pouvoir être évacuées.

Pendant les crises de 1994 et de 2006, les personnes évacuées sont rentrées chez elles pendant la journée et sont retournées dans les camps d'évacuation durant la nuit. Malgré les efforts de certaines ONGs comme ProFauna, le bétail n'a pas été évacué lors de la crise volcanique de 2006. Ainsi, à Turgo, 68% des répondants aux questionnaires ont déclaré être retournés chez eux tous les jours (entre 5 heures et 16 heures environ) pour traire et nourrir leur bétail, chercher du fourrage, et nettoyer leur maison.

*« Depuis mon enfance, chaque fois qu'il y a une crise volcanique, nous rentrons chez nous presque tous les jours pendant la période d'évacuation pour nourrir le bétail et nous occuper de la terre. Nous rentrons souvent à la maison la nuit, vers 2 ou 3 heures du matin pour éviter la police ou les gardiens. » (Warno, habitant de Ngargomulyo de 62 ans, discussion de groupe le 28 juillet 2010).*

Le retour dans le village n'était pas fait individuellement par les villageois : la commune ou le *dusun* transportait les habitants chez eux dans la matinée et les ramenait aux camps de déplacés l'après-midi.

Les besoins économiques et activités économiques limitées de la population, très attachée à la terre, ont contraint les habitants à retourner dans leur village lors de la période d'évacuation. Ce comportement est particulièrement dangereux, les volcanologues n'étant pas capables de donner l'heure exacte d'une éruption.



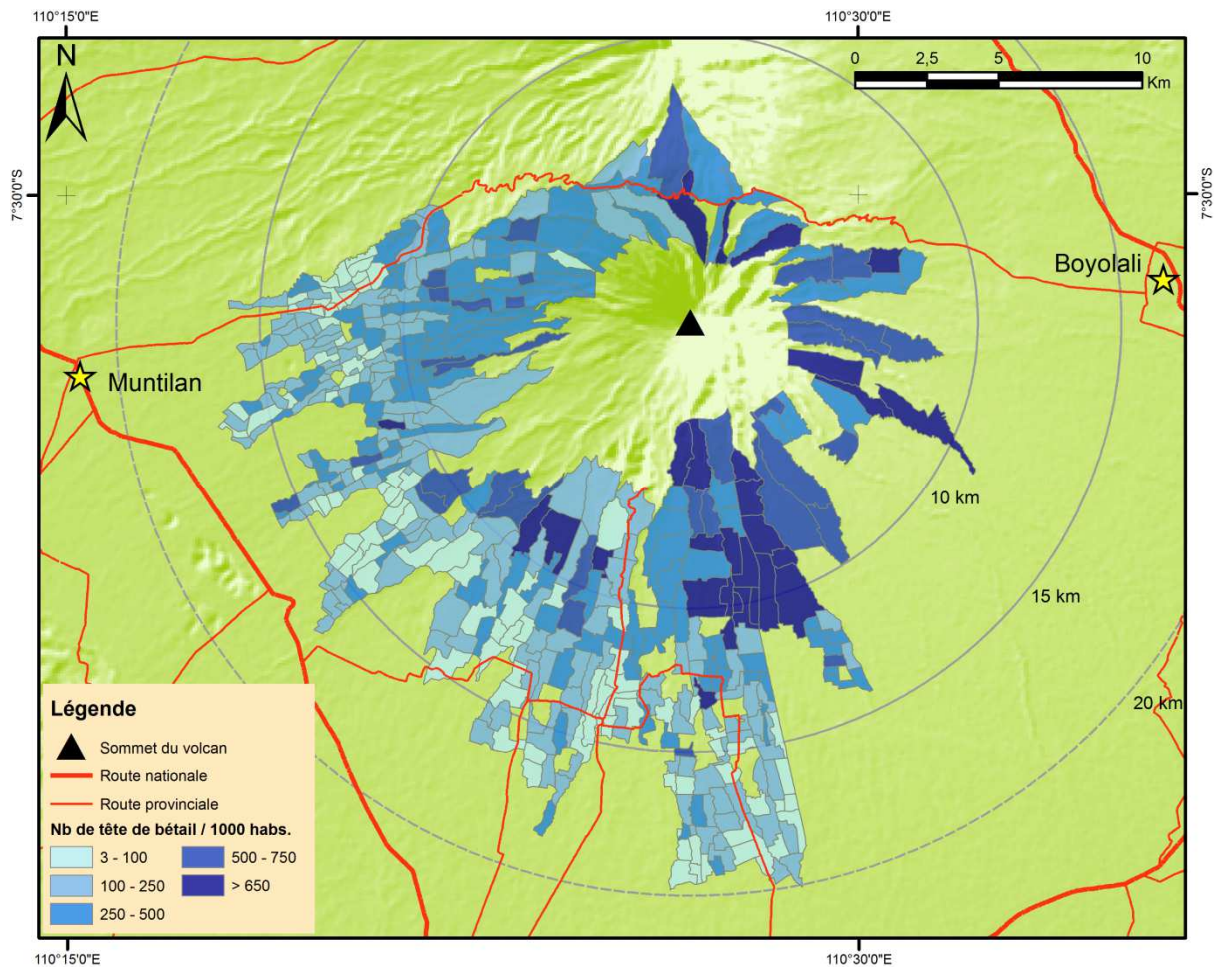


Figure 64. Répartition du bétail au Merapi (source : questionnaire PODUS 2010)

#### 2.4.2. Croyance culturelle : sagesse locale ou frein aux évacuations ?

Même si l'islam est officiellement la religion majoritaire sur les flancs du Merapi, les habitants sont des Javanais aux convictions animistes qui croient en diverses divinités. Dans la tradition javanaise, afin d'être heureux, les gens doivent vivre en harmonie avec la Nature : « le volcan ne peut causer aucun mal aux habitants s'ils se comportent bien avec la Nature ; si une catastrophe survient, c'est que les humains n'occupent pas la bonne position dans l'ordre naturel de l'univers » (Lavigne et al, 2008).

Comme évoqué lors des travaux de terrain dans le *dusun* de Turgo et la commune de Ngargomulyo, le Merapi occupe une place particulière pour les villageois parce qu'il leur offre de nombreuses ressources naturelles. Le volcan est perçu comme une créature, que beaucoup de villageois appellent « *Eyang Merapi* » (*Eyang* signifie une personne âgée et respectée). Afin de maintenir la relation harmonieuse entre les villageois et le volcan, chaque village a ses

propres cérémonies culturelles avec des dates et des rituels différents. Entre autres exemples, la cérémonie *Merti Dusun/Auman* dans le *dusun* de Sabrang dans la commune de Ngargomulyo consiste à organiser un spectacle de *wayang kulit* (marionnette en cuir), la cérémonie de 1 Suro (calendrier javanais) au repos sur l'offrande d'une tête de buffle dans le *kecamatan* de Selo (Mei, et al., 2012), et sur le don d'offrandes à la rivière Boyong dans le village de Turgo.

Lors de l'anniversaire du Sultandou Royaume de Yogyakarta, aussi gouverneur de cette province, plusieurs cérémonies appelées *labuhan*<sup>14</sup> sont réalisées en des endroits différents afin de demander la protection et la bénédiction au Créateur du Monde : *labuhan Parangkusumo*, *labuhan Gunung Lawu*, *labuhan Dlepih* et *labuhan Gunung Merapi*. Ayant lieu à Kinahrejo dans le *dusun* de Pelemsari, près de la rivière Gendol, le *labuhan Gunung Merapi* (Figure 65) est destiné à apaiser les « *makhluk halus* » ou « créatures invisibles » qui contrôlent l'activité du Merapi, en leur faisant des offrandes (nourritures, vêtements et argent). Cette cérémonie est traditionnellement dirigée par le gardien des clés du volcan, Mbah Marijan.

Dans la croyance locale, les « *makhluk halus* » existent dans une dimension parallèle et peuvent interagir avec la réalité. Ils ne sont pas visibles dans notre dimension, mais sont capables de prendre la forme d'un homme et de transmettre des informations et des avertissements à certains individus « sensibles » dans les villages. Avant une éruption, certains villageois recevraient ainsi des « alertes métaphysiques » telles que des rêves prémonitoires après des méditations (ce que les Javanais appellent « *wisik* »), ou le fait d'entendre des bruits du volcan ou de fouet. D'autres signes plus « naturels » tels qu'une sensation d'augmentation de la température de l'air et la migration des animaux du volcan vers les villages sont aussi parfois observés.

---

<sup>14</sup>Le mot *labuhan* vient de « *labuh* » (laisser ou jeter des choses importantes). Il n'est question ici que de « l'abandon » fait à la Ratu Kidul (de la mer du sud de Java), à Parangkusumo, la plage située 25 km au sud de Yogyakarta. Le *labuhan* est un accord entre le Sultan et la Reine, le Sultan devant donner des offrandes aux créatures « *lelembut* » (dirigées par la Reine du Sud) pour qu'ils protègent le Royaume et ses habitants. Des offrandes au nom du souverain du Sultanat de Yogyakarta sont également faites aux volcans Merapi et Lawu, aux esprits gardiens des lieux. Les années Dal (5<sup>ème</sup> année du cycle *windu* – huit ans) a lieu un *Labuhan Dalem Ageng*, lors duquel des offrandes sont également abandonnées sur les bords de la rivière Dlepih, 80 km au sud-est de Yogyakarta. Sous le règne du Sultan Hamengkubuwono IX, le *labuhan* était organisé le 25 du mois de Mulud (troisième mois de l'année javanaise), date de naissance du Sultan (Bigeon, 1982). De nos jours, sous la gouvernance du Sultan Hamengkubuwono X, le *labuhan* est réalisé le 30 du mois de Rejeb (septième mois du calendrier javanais), date de son couronnement.



Figure 65. Labuhan Gunung Merapi sur le flanc sud du volcan le 13 Juillet 2010 : (a) une offrande de nourriture, (b) Marijan (au milieu), (c) cérémonie sur le flanc du volcan, (d) cérémonie dans un endroit de 3 km du sommet de volcan (Photos: Mei, 2010).

Lors de l'éruption de 2006, Marijan, n'ayant perçu aucun signe des créatures spirituelles, croyait que l'éruption ne pourrait pas déclencher une catastrophe. Mbah Marijan étant très respecté par les populations, notamment dans le flanc sud du volcan d'où il est originaire, certains villageois ont refusé d'évacuer en 2006 (Mei, et al., 2012; Wilson, et al., 2007). Par ailleurs, certaines personnes dotées de pouvoir mystiques dans le village de Pelemsari où habite Mbah Marijan ont également proclamé qu'ils ne recevaient pas de signe «traditionnel» annonciateur d'une éruption et pensaient que la réaction officielle de la part de gouvernement pour évacuer les habitants était exagérée et inutile. L'éruption de 2006 n'a pas touché la zone d'habitation, seulement un site touristique (Figure 66 a et b) où elle a tué deux sauveteurs bénévoles, qui s'étaient réfugiés dans un bunker censé les protéger près de Kaliadem (Figure 66 c et d). Les réactions de la part de Marijan et ses partisans ont montré à d'autres habitants que les croyances locales pouvaient être plus fiables que les prévisions des volcanologues. Ainsi, dans le cas où les « signes métaphysiques » ne seraient pas perçus ou incorrectement perçus lors d'une prochaine éruption - donc en désaccord avec l'interprétation des volcanologues -, une partie de la population pourrait choisir de suivre la tradition culturelle plutôt que l'avis des scientifiques, ce qui serait problématique dans l'optique d'une évacuation.





Figure 66. Le site de Kaliadem et son bunker (a, c) avant 2006 et (b, d) après leur destruction par des PDCs (Source : Kabupaten Sleman, 2009).

### 3. Mise en évidence des points faibles de la gestion des crises

#### 3.1. Lacunes des plans d'urgence de 2009 de Merapi

La mise en place de plans d'urgence par les *kabupaten* en 2009 constitue un effort significatif et positif. Ces plans recèlent toutefois des faiblesses majeures :

##### 1) Evaluation et cartographie des aléas

Une étape importante dans la planification de crise est l'identification des zones à risque. Dans le cas du risque volcanique, la connaissance des éruptions (fréquence, ampleur, intensité) et des zones touchées par les événements passés est fondamentale afin de prévoir les scénarios d'éruption possibles (Thouret, et al., 2010; Crisci, et al., 2003; Alberico, et al., 2006; Martí, et al., 2008; Felpeto, et al., 2007; Komoroski, et al., 2008; Capra, et al., 2008; Macías, et al., 2008; Spence, et al., 2008). Par exemple, au Shasta (Californie), les volcanologues se sont basés sur la localisation



des zones affectées par des éruptions au cours des 10 000 dernières années pour estimer la fréquence probable des coulées pyroclastiques et des lahars à l'avenir (Blong, 2000). Au Merapi, la carte des aléas, que nous appelons «carte KRB », ne tient compte que de l'activité des cent dernières années et n'évalue pas de probabilité d'occurrence pour des éruptions de forte magnitude ou intensité, comme décrite par Thouret et al (2000). Elle détermine uniquement trois zones de danger (Figure 67). En prenant en compte un seul et unique scénario dans le plan d'urgence de 2009, la carte d'aléa est seulement utilisée pour délimiter les villages situés dans les zones KRB III.

Au Popocatépetl (Mexique), De la Cruz-Reyna et al. (2000) ont établi quatre scénarios éruptifs et proposé de diviser le territoire du volcan en zones de gestion de crise (Tableau 27 et Figure 67). Chaque zone est définie sur la carte de gestion des urgences à l'aide de deux chiffres. Le premier indique le niveau d'aléa, le second, la position azimutale. Les secteurs situés dans la zone de risque 1, la plus proche du cratère, sont numérotés de 11 à 18. Les secteurs situés en zone 2, de 21 à 28. La même logique est appliquée pour la numérotation en zone 3. Pour la zone 4, menacée par les lahars, seuls trois numéros -44, 45, et 46- sont adoptés car seuls les secteurs sud et sud-ouest du volcan sont concernés. Les villes de chaque secteur sont listées à droite de la carte.

Tableau 27. Scénarios éruptifs du volcan Popocatépetl (Mexique) dans le plan d'urgence (modifié d'après PCEM, 2011)

Scénario	Description	Conséquences	Probabilité
Petite éruption	Eruption de VEI 2, similaire à plusieurs épisodes de l'éruption du 30 avril 1995	Pluies de cendre et retombées pyroclastiques uniquement en zone sommitale	70-90%
Éruption modérée	Eruption de VEI 3 à 4	Grands volumes de cendres et de roches pouvant provoquer l'effondrement du toit des maisons dans un rayon de 20 km depuis le sommet	10-25%
Effondrement de dôme de lave	Effondrements alternant avec des explosions modérées	La zone affectée dépend de l'emplacement et du volume de l'effondrement	?
Éruption plinienne	Explosion extraordinaire associée à des coulées pyroclastiques et de grands volumes de matériaux	Destructions massives pouvant affecter les zones 1, 2 et 3	2-5%



Dans l'idéal, cette cartographie du risque doit être assortie d'un arbre d'événement décrivant la probabilité des différents scénarios et qui permet ainsi aux gestionnaires de prendre plus facilement des décisions en cas de crise (PCEM, 2011). Dans le plan d'urgence du Merapi, il n'y a ni arbre de probabilité, ni zonage précis permettant de déterminer les zones exposées aux éruptions de différentes magnitudes. Plusieurs problèmes peuvent alors se poser.

## 2) Une préparation à la gestion de crise reposant sur un scénario éruptif unique

Une fois que des scénarios d'éruption et les zones à risque correspondantes sont définis dans le plan d'urgence, les gestionnaires peuvent calculer le nombre d'habitants concernés et évaluer les moyens nécessaires pour faire face à une crise.

Cette évaluation est particulièrement importante dans les régions volcaniques où les PDCs sont fréquents, comme au Merapi, dans la mesure où tous les enjeux sont totalement vulnérables aux coulées pyroclastiques (Blong, 2000).

Il est également essentiel que cette évaluation tienne compte de l'ensemble des populations situées dans les zones KRB, alors qu'elle ne comptabilise que les populations de la zone KRB III. Une fois défini le nombre d'habitants situés en zones à risque, les gestionnaires pourraient facilement évaluer l'état des capacités disponibles pour faire face à la crise (par exemple, nombre de camps de déplacés et de véhicules nécessaires pour l'évacuation), et préparer les infrastructures en conséquence. Au Merapi, la majorité des camps de déplacés préparés par les gouvernements locaux sont situés dans un rayon moins de 15 km depuis le sommet du volcan (Figure 49). Seuls les *kabupaten* de Klaten et de Magelang disposent de camps au-delà de 15 km. Comme évoqué précédemment, le gouvernement de Magelang a développé une initiative intéressante en créant deux niveaux de camps, le premier pour l'accueil des évacués sur une courte durée, le second situé beaucoup plus loin du sommet et avec une capacité d'accueil supérieure en cas d'éruption violente. Cependant, les camps « finaux » ne peuvent accueillir que 5200 personnes, soit seulement 15 % du nombre de déplacés prévus dans le plan d'urgence.

À court terme, deux propositions pourraient être efficaces pour répondre à ce problème. La première est de renforcer l'utilisation de tentes pour loger les évacués. Cette mesure est moins coûteuse que de construire des bâtiments et facile à adopter dans l'urgence : dans chaque *kecamatan* ou commune il y a toujours un terrain disponible où installer des tentes. Cependant, il faut renforcer la structure des tentes pour mieux se protéger contre les cendres volcaniques, et créer des systèmes de drainage au sol appropriés afin d'éviter les problèmes d'inondation liés à la pluie. La deuxième solution est de créer un jumelage entre deux communes dans le même

*kabupaten*, l'une située en zone à risque, l'autre en zone sûre. Lors d'une éruption du Merapi, les habitants de la commune à risque pourraient se réfugier dans les bâtiments publics, mairie, mosquée, église, salle de réunion communale et maisons des habitants de la commune jumelée. Ce type de solidarité a déjà été envisagé au Merapi. Lors de nos travaux de terrain, le maire de Ngargomulyo a évoqué ce type d'évacuation, qu'il jugeait souhaitable, sous le nom de « *desa saudara* » (communes jumelles). Cette solidarité pourrait se traduire par une évacuation efficace du bétail en plus des évacués (Mei, et al., 2013). Le problème du manque de véhicules pour évacuer pourrait également être résolu si la commune « sûre » mettait ses propres moyens de transport à disposition. L'équilibre entre solidarité reçue et offerte se ferait au gré des différents aléas touchant ces communes (par exemple, les inondations dans les communes situées en plaine, les aléas volcaniques dans les communes plus proches du sommet). Ce type de jumelage a déjà été mis en place dans de nombreux pays, par exemple en Chine après le séisme du Sichuan en 2008.

### 3) Absence de carte officielle d'évacuation dans le plan d'urgence du Merapi

Différentes cartes des routes d'évacuation à l'échelle des *kabupaten* ont été fournies par le Département du Transport de Sleman en 2007, l'Université Pembangunan Nasional Veteran de Yogyakarta en 2007, et le Bakosurtanal en 2010. Le CVGHM a également proposé en 2006 et 2010 des cartes des routes d'évacuation à l'échelle du massif du Merapi (sur le fonds de carte KRB).

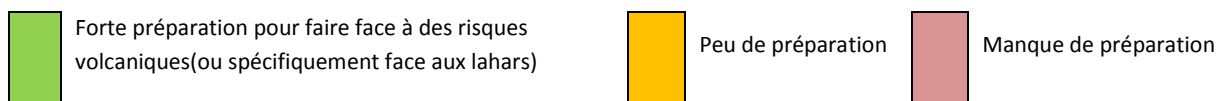
Malgré cela, seul le *kabupaten* de Klaten a inséré la carte des routes d'évacuation dans son plan d'urgence, mais sans mener d'analyse détaillée. Il est pourtant établi que des stratégies d'itinéraires sont nécessaires pour une évacuation rapide des populations exposées aux aléas (Jotshi, et al., 2009). Ainsi, il est indispensable de préparer des plans d'évacuation afin d'avoir une bonne réponse à une situation d'urgence (Saadatseresht, et al., 2009).

## 3.2. Des niveaux de préparation différents autour du volcan

Nous avons vu au cours de ce chapitre que la préparation aux crises diffère selon la zone envisagée (KRB III, II ou I, et en dehors des zones KRB). Une synthèse des actions légales, structurelles et non-structurelles menées dans ces zones est présentée en Tableau 28. Les autorités et populations de la zone KRB III sont globalement bien préparées à faire face à une future crise volcanique. L'expérience des éruptions a permis aux populations d'appréhender les aléas et le risque volcanique et de prendre conscience de la nécessité de se préparer aux crises. Dans le deuxième secteur, au sein duquel nous avons regroupé les zones de KRB II et I, la préparation est principalement liée au risque de lahars : systèmes d'alerte précoce, SABO-dam et sensibilisation des

populations. En revanche, les communautés ne sont pas bien informées sur les autres aléas tels que les PDCs ou émanations de gaz. Le dernier secteur est situé en dehors des zones KRB. Il comprend à la fois les villages du flanc ouest proches du sommet (moins de 10 km) mais non inclus dans le zonage KRB, et des villes peuplées telles que Yogyakarta (25 km du sommet), Muntilan (20 km), Magelang (25 km), Klaten et Boyolali (18 km). Dans ce secteur, il y a très peu voire pas d'informations sur les aléas volcaniques et risques associés aux éruptions du Merapi. Le BPPTK fait toutefois des efforts pour sensibiliser la population en rendant les informations concernant les risques volcaniques accessibles sur son site internet depuis 2008. Dans ce secteur, il y a très peu d'informations sur les aléas volcaniques et risques associés aux éruptions du Merapi. Le BPPTK fait des efforts pour y éduquer la population en rendant les informations concernant les risques volcaniques accessibles sur son site internet depuis 2008. Un autre effort consenti par le Ministère de l'Energie et des Ressources Minérales a été de construire en 2009 un musée du Merapi dans le *kabupaten* de Sleman afin de sensibiliser la population sur les risques volcaniques en Indonésie. Ce musée est devenu une des destinations touristiques dans la Province de Yogyakarta (avec plus de 9 000 visiteurs par mois en haute saison, (Tribunnews, 2012)). Les initiatives de préparation aux crises volcaniques sont nettement plus nombreuses en zone KRB III. Cela ne signifie pas pour autant que les autorités et populations sont parfaitement prêtes à affronter une éruption majeure. En effet, comme nous l'avons évoqué, des contraintes culturelles et socio-économiques pèsent lourdement dans les processus de gestion de crise, notamment dans les décisions d'évacuation.

Tableau 28. Préparation aux crises volcaniques autour du Merapi.



Type de mesures	Préparation	KRB III	KRB II et I	En dehors des zones KRB
Légales	1) Plan d'urgence	Green	Red	Red
	2) Plan opérationnel	Green	Red	Red
Structurelles	3) Systèmes d'alerte	Green	(lahars) Green	Red
	4) Camps de déplacés	Green	Red	Red
	5) Panneaux d'évacuation	Green	Red	Red
	6) SABO-dam (lahars)	Green	Green	Green
Non-structurelles	7) Programme de sensibilisation	Green	(lahars) Red	Red
	8) Exercice d'évacuation	Green	Red	Red
	9) Formation à la gestion de crise	Green	Red	Red
	10) Information générale sur les risques volcaniques	Green	Yellow	Yellow

## CONCLUSION

Nos travaux montrent que les plans d'urgence au Merapi sont une bonne démarche initiale pour se préparer à une crise volcanique, mais que deux points importants restent à améliorer à la veille de l'éruption de 2010. En premier lieu, les plans d'urgences devraient être révisés en intégrant plusieurs scénarios fondés sur les analyses faites par les scientifiques sur les aléas volcaniques et risques associés. Selon nos analyses, avant la crise de 2010, sur les plans d'urgence de 2009, il serait souhaitable de développer au Merapi un plan d'urgence basé sur plusieurs scénarios et des régions numérotées comme au Popocatépetl. Des analyses réalisées sous SIG pourraient faciliter la planification territoriale et les activités de la protection civile, comme cela a déjà été souligné dans de nombreux autres contextes (Alberico, et al., 2012; Aceves Quesada, et al., 2007; Crisci, et al., 2008; De Silva, et al., 2000; Martí, et al., 2008; Pareschi, et al., 2000; Pesaresi, et al., 2008; Rapicetta, et al., 2009; Renschler, 2005; Toyos, et al., 2007). Le second point relève de questions de volonté politique, avec la nécessité pour le gouvernement de s'engager dans une culture de réduction de risque. Les plans d'urgence doivent notamment être soigneusement examinés, révisés et mis à jour (Mei, et al., 2013).

Les plans d'urgence élaborés en 2009 et les différentes mesures de préparation aux crises présentées dans ce chapitre ont été testés lors de l'éruption du Merapi en 2010. L'objet du chapitre V de la thèse est d'étudier le degré de préparation et l'efficacité des mesures de gestion de crise lors de cette éruption majeure.







# C

## hapitre 5. Etude des évacuations lors de l'éruption de 2010

---

L'un des principaux objectifs de la thèse est de comprendre le processus des évacuations de populations lors des crises volcaniques. En prenant le cas de l'éruption de 2010, ce chapitre a pour but d'analyser: (1) la chronologie de l'éruption et des évacuations, (2) les rôles des parties prenantes dans la gestion des évacuations, (3) le nombre et la répartition spatiale des personnes évacuées et la gestion des camps de déplacés, (4) les réponses des populations aux évacuations, et (5) la phase de retour dans les villages. Pour réaliser ces objectifs, nous avons utilisé des questionnaires auprès des personnes déplacées, des entretiens avec des personnes- clés, des discussions de groupe, et une recherche bibliographique.

### 1. Chronologie de l'éruption de 2010

Ce sous-chapitre a pour but d'analyser la chronologie de l'éruption du Merapi en 2010 en prenant en compte la chronologie de l'activité volcanique, celle des évacuations, et la distribution spatiale des camps de déplacés. Les données de surveillance du volcan de septembre à décembre 2010 ont été obtenues via le BPPTK. Celles liées aux évacuations ont été collectées par le biais d'entretiens avec les personnes-clés et des données secondaires, obtenues notamment du BPBD.

#### 1.1. Activité volcanique et chronologie des évacuations

Le Merapi est depuis longtemps surveillé en utilisant la sismologie, la déformation, les émissions de gaz, etc.(Purbawinata, et al., 1996) depuis un observatoire basé à Yogyakarta (BPPTK) et sous tutelle du CVGHM. Pendant l'éruption du Merapi en 2010, plusieurs types d'analyses ont été réalisées collectivement par les volcanologues indonésiens et des chercheurs internationaux (Figure 68) (Surono, et al., 2012) : (1) le suivi de l'activité sismique en temps réel grâce à un réseau de quatre stations sismologiques permanentes et cinq stations temporaires; (2) la mesure des déformations à l'aide d'un inclinomètre et d'un réseau de mesure de distance électronique (EDM). Des données satellitaires variées ont été également utilisées, issues de capteurs SAR (Synthetic

Aperture Radar), TerraSAR-X et infrarouge thermique ; (3) la surveillance in-situ des émissions de gaz volcaniques à travers la collecte régulière d'échantillons du solfatare Woro, au sommet du volcan.

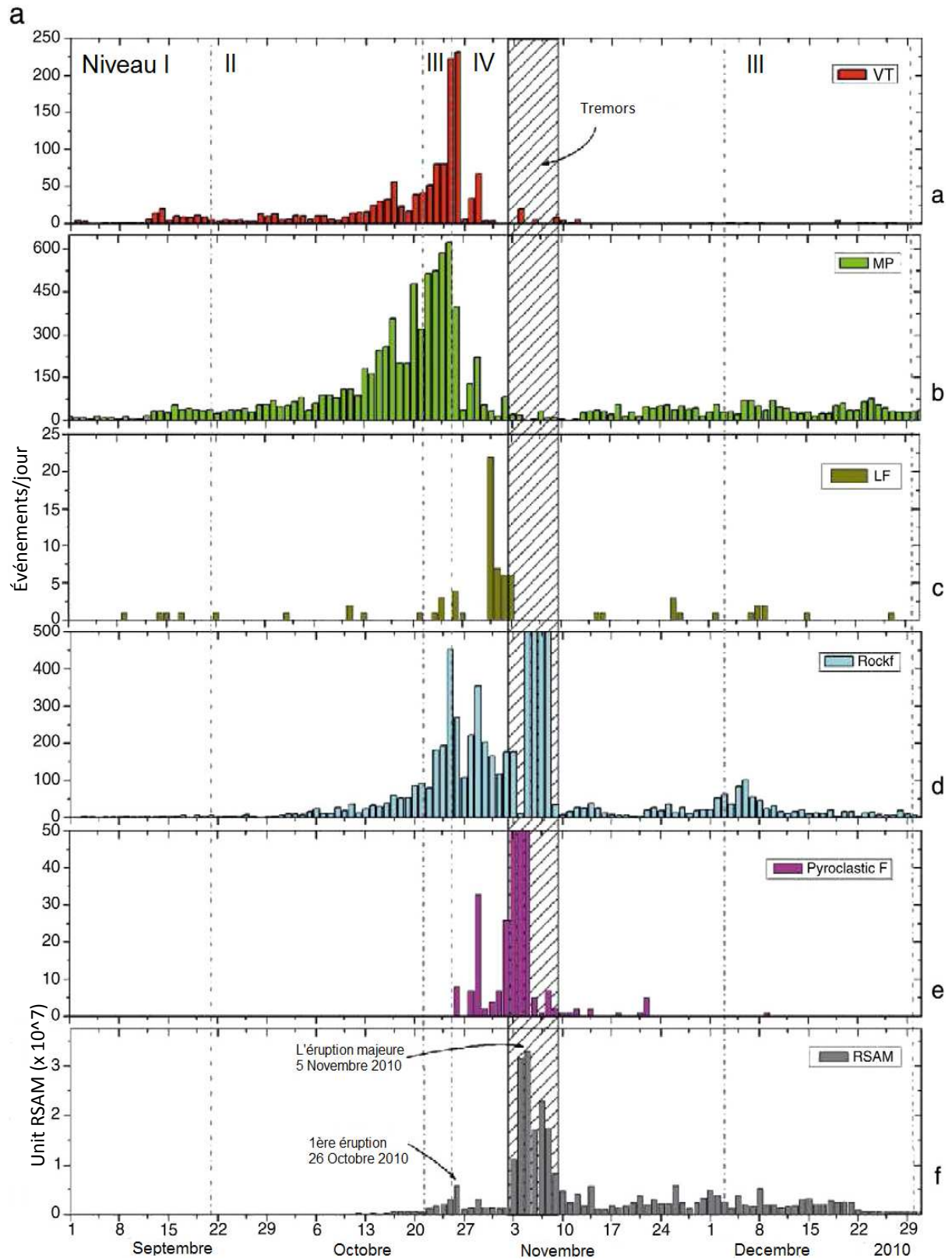


Figure 68. (a) Nombre journalier de séismes enregistrés lors de l'éruption du Merapi en 2010. VT = volcano-tectonic ; MP = multiphase (=hybride earthquake) ; LF = low-frequency ; Rockf = Rockfall earthquakes; Pyroclastic F = Pyroclastic flows; RSAM = Real-time Seismic Amplitude Measurement. (b) Localisation des séismes VT avant et pendant l'éruption (Surono, et al., 2012)

L'éruption du Merapi a eu lieu du 26 octobre au 23 novembre 2010 (Surono, et al., 2012), et le niveau d'alerte IV maintenu du 25 octobre au 3 décembre 2010. En septembre 2010, les volcanologues avaient pu observer une augmentation de l'inflation du sol, de l'activité sismique, de la température, des émissions de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>S, et des fumerolles au sommet. Sur la base de ces changements, le CVGHM a déclenché le passage de l'alerte de niveau I à celle de niveau II le 20 septembre, pour anticiper une éruption volcanique supposée petite à modérée (maximum VEI 3). Le 20 octobre, après des modifications accrues des paramètres de surveillance, le CVGHM a passé l'alerte du niveau II au III, signifiant l'augmentation de la probabilité d'éruption. La déformation des pentes du volcan était alors beaucoup plus rapide qu'au dernier épisode pré-éruptif de 2006, traduisant un fort dégazage lié à une intrusion magmatique plus importante et, en conséquence, l'éventualité d'une éruption plus explosive que celle de 2006, de VEI 4. Le directeur du CVGHM, Dr. Surono, a déclaré que l'éruption pourrait être équivalente à celle de 1930 (Melchior, 2010). Du 23 au 24 octobre, des avalanches de blocs sont émises dans la vallée de la rivière Gendol.

L'éruption du Merapi en 2010 a forcé les habitants vivant à proximité du volcan à quitter temporairement la zone interdite. Plusieurs évacuations ont été exécutées progressivement à mesure de l'augmentation du danger lié à l'éruption (Figure 68). Cinq périodes ont été observées (Tableau 29 et Figure 69):

#### 1. Période A (du 25 octobre au 2 novembre 2010)

La première information sur la préparation à une éventuelle évacuation a été donnée le 24 octobre par le BPPTK aux *kabupaten* puis transmise aux mairies. Le 25 octobre à 6h00 heure locale, l'alerte a été portée au niveau maximal (IV-awas) et le CVGHM a averti de la forte probabilité qu'une éruption explosive beaucoup plus grande que les éruptions précédentes se produise. Cette alerte a été suivie par un ordre d'évacuation pour les habitants dans un rayon de 10 km à partir du sommet du volcan. Une éruption explosive a débuté à 17h02 le 26 octobre et s'est terminée à 19h00. Cette explosion a engendré un panache de cendres qui a atteint 12 km d'altitude. Elle a produit des coulées et déferlantes pyroclastiques qui s'étendaient sur 8 km dans les vallées de la Gendol et de la Kuning, sur le flanc sud du volcan. L'évacuation n'a commencé que le 26 octobre après la première explosion.

L'analyse des images radar indique que l'éruption du 26 octobre a émis environ  $6 \times 10^6 \text{ m}^3$  de matériaux non-juvéniles du sommet. Quelques petites éruptions ont eu lieu le 29 octobre (17h10-19h00 UTC), le 31 octobre (7h30 et 8h15 UTC) et le 1<sup>er</sup> novembre (~3h UTC) (CVGHM, 2010). Les éruptions du 26 octobre et du 30 octobre ont entraîné l'effondrement partiel du dôme de lave de 2006, élargi et approfondi le cratère, et provoqué une incision profonde en amont de la Kali Gendol. L'éruption de 2010 n'a pas commencé par une extrusion de lave, caractéristique des éruptions récentes du volcan, mais par un événement explosif au niveau du cratère (Surono, et al., 2012). Dans la zone de danger III, 24 024 habitants (recensés via l'enquête PODUS dans 12 communes) ont reçu l'ordre d'évacuer.

## *2. Période B (3-4 novembre 2010)*

Les images radar ont révélé que la croissance du dôme pendant la période du 1<sup>er</sup> au 4 novembre a été extrêmement rapide (gain de  $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). Les signaux sismiques ont mis en évidence une éruption continue et un fort dégazage (CVGHM, 2010). Les 3-4 novembre, l'intensité éruptive a augmenté et une série d'explosions a eu lieu, dont certaines ont été entendues depuis Yogyakarta, à 25 km du sommet du volcan (CVGHM, 2010). Le 3 novembre à 16h05 heure locale, les autorités ont décidé d'étendre la zone de sécurité à 15 km du sommet le long des principales rivières et donné l'ordre d'évacuer à 90 325 habitants de 32 communes.

## *3. Période C (5-13 novembre 2010)*

Le 4 novembre, un tremblement de terre a été ressenti jusqu'au niveau 2-3 de l'échelle de Mercalli et les amplitudes sismiques de la station à Imogiri (40 km au sud du volcan) étaient jusqu'à cinq fois supérieures à celles des signaux associés à l'explosion du 3 novembre (Surono, et al., 2012). Des éruptions explosives intermittentes dans la nuit du 4 au 5 novembre ont engendré une colonne de cendres qui s'est élevée jusqu'à 17 km d'altitude et une coulée pyroclastique qui a parcouru environ 16 km le long de la Gendol. La zone d'arbres brûlés s'étend de 50 à 300 mètres autour des dépôts de déferlante (Figure 71) (Vidal, 2011). Le soir du 5 novembre, des cendres sont tombées jusqu'à 400 km du sommet (par exemple à Bogor, Java Ouest (Kompas, 2010)). Ces éruptions ont endommagé les systèmes de surveillance installés au Merapi ; par conséquent, de nouvelles stations ont été temporairement mises en place, seulement dans les zones situées à plus de 10 km du sommet.

Les autorités locales ont décidé d'étendre la zone d'exclusion de 15 à 20 km du sommet quelques heures avant l'éruption majeure. Malheureusement, la liste des villages à évacuer n'était pas incluse dans la lettre de recommandation du CVGHM au BPBD. Par conséquent, il y a eu une



incompréhension de certains responsables de la gestion de crise dans l'évacuation précipitée des habitants. Après le 8 novembre, l'activité sismique a commencé à diminuer lentement. Les données satellitaires ont également indiqué l'arrêt de la croissance du dôme, puis une période d'affaissement de celui-ci accompagné d'émission de gaz et de cendres (Figure 68)(Surono, et al., 2012).

#### 4. *Période D (du 13 au 19 novembre 2010)*

L'activité volcanique diminuant, les autorités locales ont modifié la zone de sécurité, désormais située au-delà de 20 km du sommet pour la zone située entre les vallées de la Boyong et de la Gendol, de 15 km du sommet pour le *kabupaten* de Magelang, et de 10 km pour les *kabupaten* de Klaten et Boyolali.

#### 5. *Période E (du 19 novembre au 3 décembre 2010)*

L'activité volcanique poursuivant sa baisse, les autorités locales ont à nouveau modifié la zone de sécurité, à 15 km du sommet pour la zone située entre les vallées de la Boyong et de la Gendol, à 10 km du sommet pour les *kabupaten* de Magelang et Klaten et à 5 km du sommet pour le *kabupaten* de Boyolali.

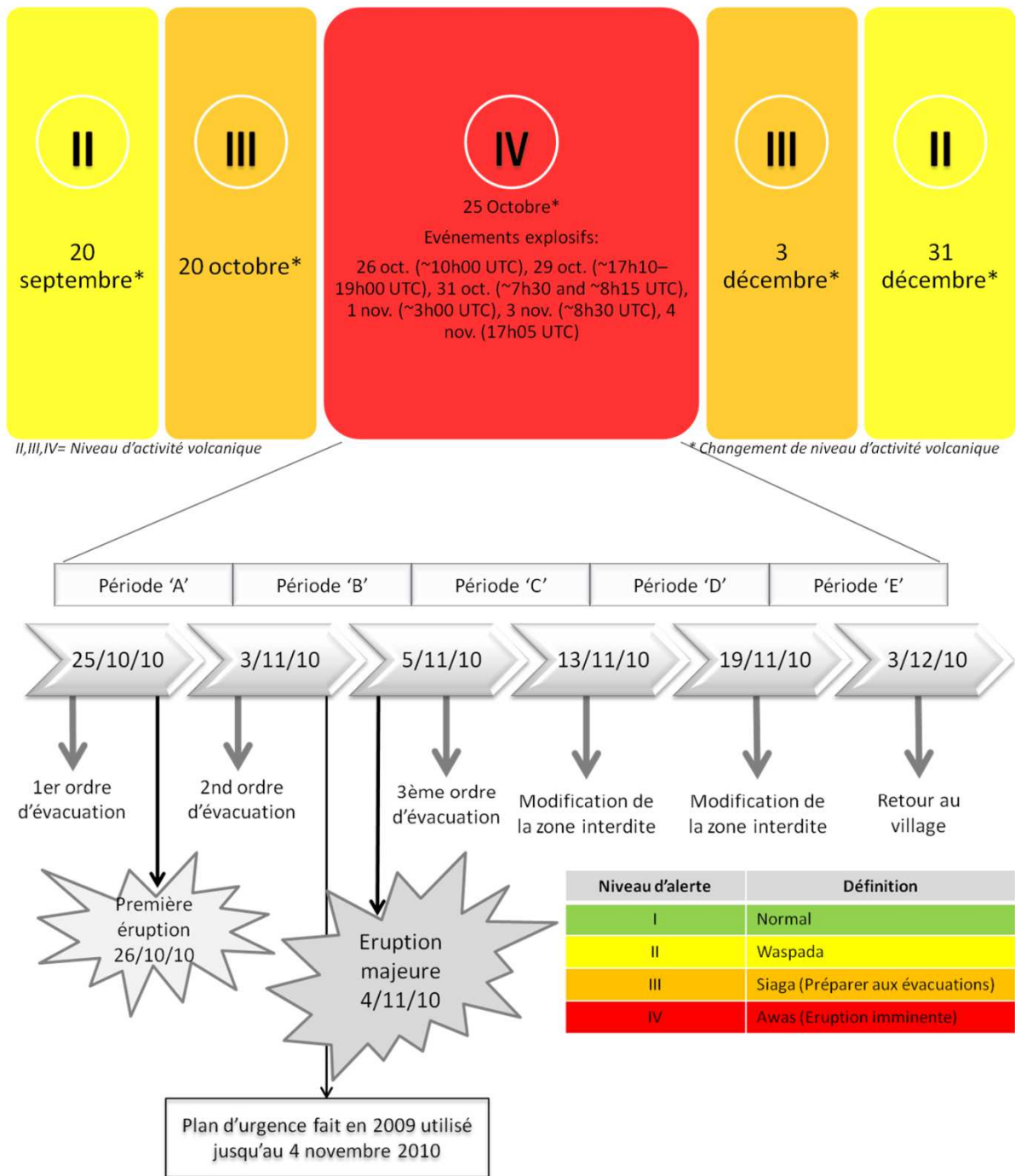


Figure 69. Chronologie de l'évacuation de 2010



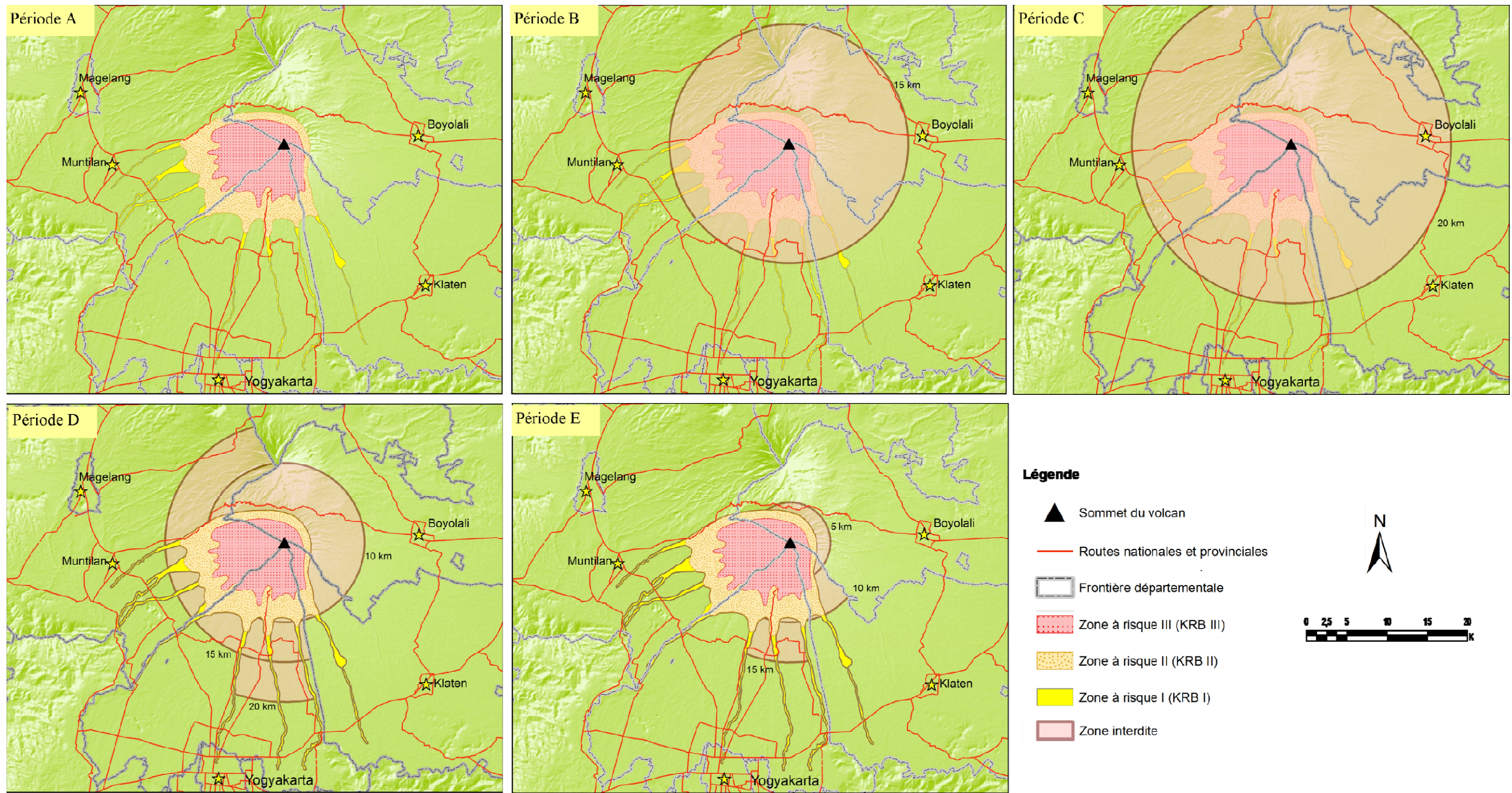


Figure 70. Zones interdites lors des périodes d'évacuation pendant la crise éruptive de 2010 au Merapi





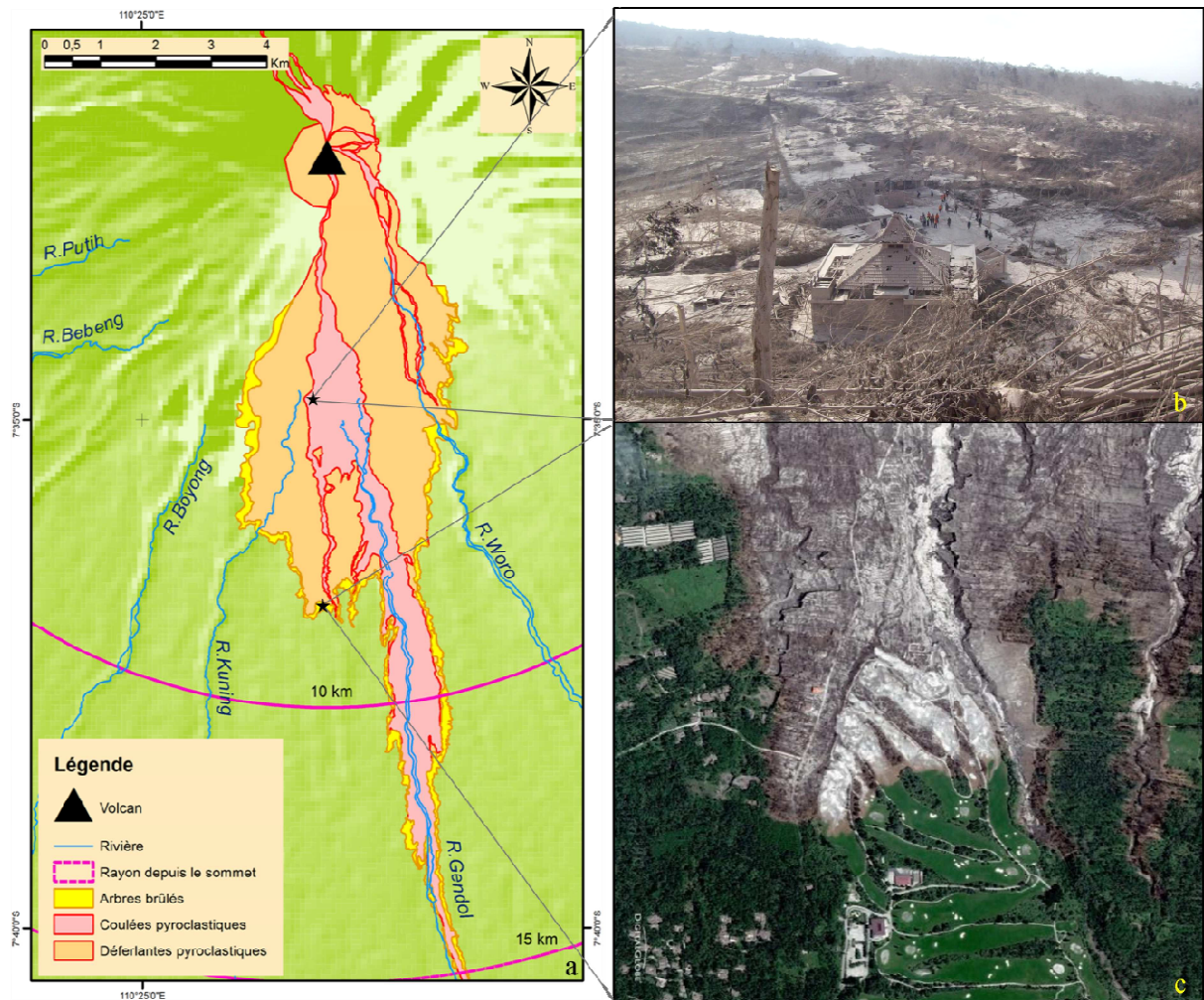


Figure 71. Zones dévastées par l'éruption du Merapi de 2010 (a) sur le flanc sud du volcan (carte modifiée d'après Vidal (2011)), (b) le village de Pelemsari où habitait le gardien du volcan (Photo : BPBD Sleman 2010), (c) terrain de golf de la commune de Umbulharjo (Image satellite: DigitalGlobe, 2010)

Tableau 29. Synthèse du nombre de personnes évacuées par périodes d'évacuation lors de l'éruption du Merapi en 2010

	Période A	Période B	Période C	Période D	Période E
Date	25/10/2010-02/11/2010	03/11/2010-04/11/2010	05/11/2010-13/11/2010	13/11/2010-19/11/2010	19/11/2010-03/12/2010
Zone de sécurité	12 communes dans la zone de KRB III à évacuer.	32 communes dans la zone de KRB à évacuer. La zone de sécurité à 15 km du sommet le long des principales rivières.	Rayon de 20 km autour du sommet. (la liste des villages à être évacués n'était pas incluse dans la lettre de recommandation du CVGHM au BPBD).	Rayon de 20 km pour la zone située entre les vallées Boyong et Gendol ; Rayon de 15 km pour le <i>kabupaten</i> de Magelang ; de 10 km pour le <i>kabupaten</i> de Klaten ; et de 10 km pour le <i>kabupaten</i> de Boyolali.	Rayon de 15 km pour la zone située entre les vallées Boyong et Gendol ; Rayon de 10 km pour le <i>kabupaten</i> de Magelang ; de 5 km pour le <i>kabupaten</i> de Klaten ; et de 5 km pour le <i>kabupaten</i> de Boyolali.
Population dans les zones interdites	24 024 habitants dans 12 communes à évacuer. 55 862 habitants dans la zone de KRB III de 2006.	90325 habitants dans 32 communes à évacuer.	Rayon de 20 km : 1335885 habitants.	464328 habitants.	190902 habitants.
Activité volcanique	Première éruption : 26 octobre (17h00). Eruptions : 30/10/2010 (00h00-02h00 UTC) ; 31/10/2010 (14h30 et 15h15 UTC) ; 01/11/2010 (03h00 UTC)	Des éruptions et des explosions dont la plupart ont pu être entendues depuis Yogyakarta (25 km au sud du volcan).	Eruption majeure dans la nuit du 4 au 5 novembre. Une coulée pyroclastique parcourt une distance de 16 km à partir du cratère.	L'activité volcanique diminue.	
Personnes déplacées enregistrées	26/10/2010 : 22 599 déplacés (94% de la population totale des 12 communes) 30/10/2010 : 53048 déplacés (94% de la population totale des communes de la zone KRB III de 2006)	03/11/2010 : 76 031 déplacés (84% de la population totale des 32 communes). 04/11/2010 : 82 701 déplacés (91% de la population totale des 32 communes).	05/11/2010 : 239 618 déplacés. 13/11/2010 : 381696 déplacés.	13/11/2010 : 381 696 déplacés (82 % de la population totale dans la zone de sécurité de la période D). 19/11/2010 : 272 124 déplacés (58 % de la population totale dans la zone de sécurité de la période D).	03/12/2010 : 51 924 déplacés (27 % de la population totale dans la zone de sécurité de la période E). 09/12/2010 : < 20 000 déplacés (10 % de la population totale dans la zone de sécurité de la période E).



**Cas d'étude à l'échelle locale : la chronologie des évacuations de populations sur la commune de Ngargomulyo**

Après la réunion d'urgence avec les autorités locales à l'échelle du kabupaten le 25 octobre 2010 à 03h00, le maire de Ngargomulyo (2 451 habitants) a donné deux instructions : (1) préparer l'évacuation, notamment des personnes vulnérables (handicapés, personnes âgées, femmes enceintes, enfants, soit environ 600 personnes), (2) améliorer les routes d'évacuation dans le village, particulièrement les routes principales. Le lendemain, les personnes vulnérables ont commencé à être évacuées par les autorités locales, tandis que d'autres habitants étaient encore dans le village. Cependant, après avoir eu connaissance de l'occurrence de coulées pyroclastiques, les habitants ont commencé à évacuer vers 18h00.

Nous avons pu distinguer trois types d'évacuation :

- (a) une évacuation collective gérée par le maire de Ngargomulyo vers un camp de déplacés destiné en partie aux habitants de la commune,
- (b) une évacuation individuelle, les habitants partant chez leurs proches situés dans la zone plus sûre,
- (c) une évacuation de type mixte (les déplacés ont évacué collectivement avec d'autres habitants, mais ensuite, ont rejoint leur famille).

Toutefois, quelques personnes sont restées dans leur maison, refusant de quitter le village (Scf.4.1). Pendant la période de crise, des habitants sont retournés temporairement dans le village, notamment en journée.

Nous avons pu identifier trois changements de localisation de camps de déplacés pour les habitants de Ngargomulyo: d'abord, le 26 octobre 2010 sur la commune de Dukun (5 kilomètres de Ngargomulyo), ensuite, le 28 octobre à Ngadipuro (7 kilomètres de Ngargomulyo), puis, le 5 novembre, dans la ville de Muntilan (10 kilomètres de Ngargomulyo).

Le retour officiel a été déclaré le 3 décembre 2010 quand le niveau d'alerte a été abaissé (Figure 72).

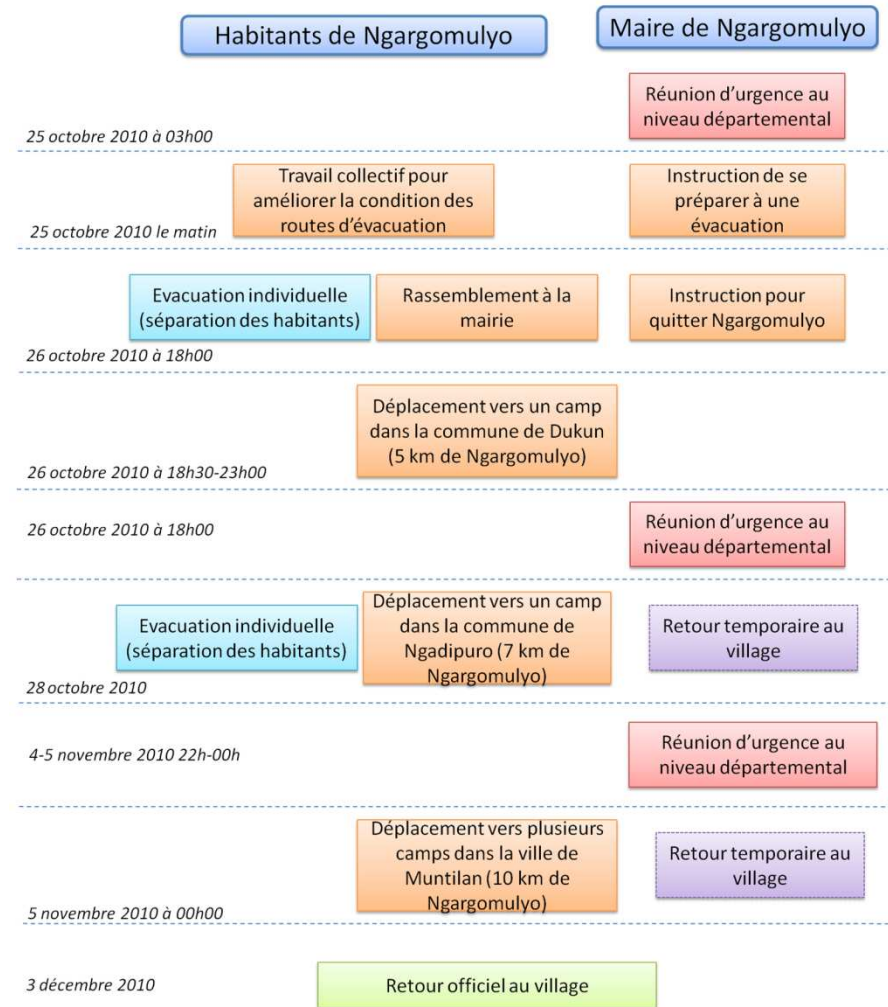


Figure 72. Description et chronologie des déplacements à Ngargomulyo pendant la crise de 2010

## 2. Rôles des acteurs dans la gestion des évacuations

Ce sous-chapitre a pour objectif de préciser le rôle de chacun des protagonistes lors de l'éruption du Merapi en 2010. L'information a été collectée lors d'entretiens avec des représentants des parties prenantes à Bronggang-Suruh, Turgo et Ngargomulyo, les trois villages où les évacuations ont été étudiées.

### 2.1. Acteurs de la gestion de crise

Nous pouvons distinguer quatre catégories d'acteurs de la gestion des évacuations de chaque *kabupaten*: (1) les populations exposées, (2) le gouvernement, (3) les établissements publics et (4) les associations à but non lucratif (Tableau 30).

#### 2.1.1. Les populations exposées aux risques

Les populations concernées incluent les habitants et les maires (*kepala desa ou KADES*) et/ou les chefs de village (*kepala dusun ou KADUS*) situés dans les zones interdites. La plupart des jeunes et des hommes ont été impliqués dans la coordination des évacuations. Ils ont diffusé l'information aux autres habitants et sont restés dans le village jusqu'à peu de temps avant l'éruption pour s'assurer que tous les habitants quittent le village. Lors de la période de crise, les hommes et les jeunes effectuaient des rondes afin de protéger le village contre les cambriolages. Ce comportement implique qu'ils n'auraient pas nécessairement pu évacuer à temps. Pour les villages qui ne disposaient pas de plan d'évacuation, par exemple Bronggang-Suruh, les habitants ont également participé à la prise de décision sur le choix des lieux de déplacement et d'abri temporaire.

*« Suite aux ordres du maire et du chef du village de Bronggang-Suruh, et aux informations que nous avons reçues de la radio communautaire, nous avons évacué collectivement les habitants dans la nuit du 4 au 5 novembre 2010 » (Puthu Danang Wijaya, chef de l'association des jeunes du village de Bronggang-Suruh)*

Les maires et chefs de village sont des acteurs importants dans le processus d'évacuation. Ils sont perçus par les autorités provinciales comme ayant une forte influence sur l'acceptation des évacuations et des réinstallations temporaires par les populations.

*« Notre but est de créer une relation avec les maires et les chefs de village, car ils ont une forte influence sur les populations. Si nous pouvons coopérer avec les maires et les chefs de village, le*

*reste du village va facilement suivre nos instructions d'évacuation » (Asih, secrétaire de BPBD/Kesbanglinmas Sleman).*

Le maire et le chef de village peuvent influencer pour la sélection d'un abri temporaire à l'emplacement que les villageois préfèrent, et favoriser la création d'activités économiques lors de la période de rétablissement.

*« Dans la nuit avant l'éruption, le 4 novembre 2010, tous les chefs de village se sont réunis avec le maire dans le bureau de la commune jusqu'à 23h00. Ensuite, quand le gouvernement local a décidé de donner l'ordre d'évacuation, les chefs de village avec l'aide des jeunes ont directement informé la population à évacuer » (Bowo, un jeune du village Bronggang-Suruh)*

*« Le maire a dit aux chefs de village de bien choisir et bien gérer ce qui est le meilleur pour le village, par exemple pour choisir la nature et l'emplacement du camp de déplacés, ainsi que les modalités d'évacuation » (Suwaji, le chef de village de Bronggang-Suruh).*

### **2.1.2. Le gouvernement local**

Le BPBD est chargé du contrôle, de la régulation, de la coordination de toutes les activités sur la gestion des crises, du niveau du *kabupaten* au niveau communal (§cf. 3 p. 62). L'ordre d'évacuation est donné par le chef de *kabupaten* (*Bupati*). Le *camat* ou chef du *kecamatan* transfère l'ordre d'évacuation et l'alerte aux maires et coordonne le processus d'évacuation dans chaque commune du canton. Les maires conduisent ensuite collectivement avec les chefs de village la mobilisation des populations pour l'évacuation. Les maires, à la demande du BPBD, connectent ainsi les gouvernements locaux, les volcanologues à la population.

*« La recommandation pour lancer un ordre d'évacuation est fournie par le BPPTK au Bupati, ensuite le Bupati donne l'ordre d'évacuation aux populations par l'intermédiaire du camat et du maire » (Djoko Rukminto, le chef de BPBD/Kesbanglinmas Klaten).*

*« En cas de crise volcanique, nous ne pouvons pas travailler seuls, ce que nous faisons, c'est de rassembler des institutions différentes aux niveaux du kabupaten, cantonal et communal et de collaborer avec pour faire face à la crise dans le respect du devoir de chaque institution. » (Asih, le secrétaire de BPBD/Kesbanglinmas Sleman)*

« Nous sommes toujours en contact avec le BPBD/Kesbanglinmas, le canton, et le BPPTK. Nous suivons toutes les instructions du BPBD/Kesbanglinmas avec les communautés. Cependant, pour les informations concernant l'activité volcanique et l'alerte, nous sommes directement liés au BPPTK, par exemple quand nous devons évacuer, quand nous pouvons rentrer au village, quelles sont les zones interdites, etc. Nous ne demandons pas ces informations au BPDB pour éviter la complexité de la bureaucratie du niveau du kabupaten. » (Yatin, le maire de Ngargomulyo).

### 2.1.3. Etablissements publics

Lors de la période de crise de 2010 au Merapi, plus de mille **policiers** ont été déployés pour garder les infrastructures publiques majeures, fournir les moyens de transport pour les évacuations, maintenir la circulation sur les voies principales lors des évacuations, et surveiller les principales entrées aux zones interdites.

« La tâche principale du policier lors des périodes de crise est de sauver les habitants, notamment lors des évacuations. Ainsi, la police régionale de Java Centre est en mesure de fournir les moyens de transport nécessaires pour effectuer une évacuation » (Irjen Pol Edward Aritonang, le chef de Police Régionale de Java Centre, le 25 Octobre 2010 - (Detik, 2010))

Lors de la crise du Merapi en 2010, le **TNI (L'Armée indonésienne)** a mobilisé une équipe spéciale de 5117 personnels pour gérer la crise, intitulée *Brigade Khusus Merapi*, sous la coordination du BNPB et dirigée par le Général de Brigade Syahiding. Ses responsabilités sont de rechercher les victimes des catastrophes et de gérer le processus d'évacuation.

« L'armée a déployé des équipements lourds, du personnel, des camions-citernes d'eau, des tentes, des cuisines, des générateurs et divers autres équipements. Nous avons également prévu la logistique d'approvisionnement pour faire face aux crises majeures potentielles » (Colonel S. Minulyo, chef du bureau d'information publique, le 26 octobre 2010 - (Detik, 2010)).

A partir de l'augmentation du niveau d'alerte du Merapi le 20 octobre 2010, et en prévision d'une augmentation d'activité volcanique, l'**équipe de recherche et sauvetage (SAR)** a été en veille 24h/24 au poste principal de chaque *kabupaten*. Cette équipe a travaillé collectivement avec l'Armée et la Police afin de rechercher et sauver les habitants restés dans les zones interdites et les victimes.

*« Une équipe conjointe de l'Armée, de la Police et de Recherche et Sauvetage a effectué des opérations de recherche et de sauvetage des habitants restés dans le village ou des victimes présentes dans les zones interdites. Cependant, ces opérations ont dû être menées pendant la journée compte tenu de la menace toujours exercée par le Merapi » (Gouverneur de Yogyakarta, Sri Sultan Hamengkubuwono IX - (Detik, 2010)).*

Depuis 2009, les routes d'évacuation ont été améliorées conjointement par le **Kimpraswilhub** et les communes situées dans les zones à risque. Quand le niveau d'alerte a été augmenté le 25 octobre 2010, le Kimpraswilhub a commencé à fournir des moyens de transport pour effectuer les évacuations dans chaque commune située en zone de KRB III. Cependant, les moyens de transport mis à disposition restaient insuffisants pour évacuer tous les villageois en même temps (§ cf. 4.2).

*« Le nombre de véhicules disponibles pour évacuer les habitants n'était pas suffisant, même si nous avons essayé de demander l'aide de plusieurs institutions et des particuliers. En conséquence, les évacuations ont dû se faire en plusieurs fois. » (Heriyanto, chef du Kimpraswilhub Magelang)*

Un **centre d'information** (Telematika) a été mis en place par le BNPB et le Ministère de la Communication et de l'Information pour permettre au public d'obtenir les dernières informations sur l'activité volcanique et ses conséquences. Pour soutenir la diffusion des informations au public, le centre médiatique a également créé une station radio « Merapi Radio » (100,2 FM), un centre d'appel (au numéro 0274-547359), un centre de SMS (081213234142) et un blog ([www.mckominfo.blogspot.com](http://www.mckominfo.blogspot.com)). Un autre rôle du centre était de rassembler toutes les informations concernant les victimes et les personnes déplacées. Toutes les informations étaient validées en temps réel afin d'éviter la délivrance de fausses informations et le développement de rumeurs. Plusieurs interviews avec les personnes-clés de la gestion des évacuations et des crises volcaniques ont été médiatisées, par exemple avec le Gouverneur de Yogyakarta (Sri Sultan Hamengkubuwono IX), le chef du BNPB (Dr. Syamsul Maarif), et le chef du CVGHM (Dr. Surono). Le **Dinas Sosial** a été mis à disposition pour assurer les besoins logistiques et le **Dinas Kesehatan** a fourni les services médicaux.

#### ***2.1.4. Bénévoles et institutions à but non lucratif***

Les bénévoles ou les particuliers qui habitent hors du Merapi ont fourni des voitures, camions ou autobus pour faciliter l'évacuation des villageois.

« Les amateurs de 4x4 ont aidé l'Armée et la Police pour sauver les habitants dans les zones difficiles à atteindre ainsi que pour distribuer une aide logistique » (Brigjen Ondang Sutarsa, Chef de Police Régionale de Yogyakarta, le 26 Octobre 2010 - (Suaramerdeka, 2010)

Plusieurs organisations locales à l'échelle des communes ou des villages avaient déjà été formées pour faire face aux crises, telles que Pasag Merapi, ORA Merapi, FKLM, Kelompok Tani Ngudi Rukun, FPRB, CBDRM-NU/SSB, Kompag. Plusieurs ONGs nationales ou internationales ont aidé les villageois lors de la période de crise, notamment pour l'intervention d'urgence, la logistique et la gestion des camps de déplacés, par exemple PMI/Croix-Rouge indonésienne, YAKKUM, Karina-KAS, Dompét Dhuafa, World Vision Indonesia. Les ONGs se sont révélées être des supports précieux, mais ne sont pas considérées comme des acteurs principaux susceptibles d'endosser les rôles et responsabilités du gouvernement.

Tableau 30. Rôles des acteurs dans la gestion des évacuations

Type d'acteur	Acteur	Responsabilité principale
Population concernée	Habitants	Diffuser l'information concernant la crise ; Gérer collectivement le déroulement des évacuations
	Chefs de village	Coordonner l'évacuation à l'échelle locale
Gouvernement local	Bupati BPBD/Kesbanglinmas	Donner l'ordre d'évacuation ; Coordonner les déplacements de gens et l'organisation des camps de déplacés
Etablissement publics	BPPTK	Déterminer le niveau d'alerte et les zones interdites ; Recommander l'ordre d'évacuation
	TNI (armée)	Rechercher des victimes ; Gérer le processus d'évacuation
	Police	Maintenir la circulation lors des évacuations ; Garder les entrées principales aux zones interdites ; Fournir les moyens de transport nécessaires
	SAR	Rechercher et sauver les habitants et victimes dans les zones interdites
	Kimprasilhub	Fournir des moyens de transport pour les déplacements ; Fournir les camps de déplacés
	Telematika	Fournir les informations sur l'activité volcanique, les victimes et les personnes déplacées
	Dinas Sosial	Soutenir la soupe populaire et la logistique
	Dinas Kesehatan	Fournir des services médicaux et d'ambulances pour déplacer les victimes
Acteurs non-lucratifs	Bénévoles	Fournir les moyens de transport, d'hébergement, de logistique
	ONGs locales, nationales, internationales	Fournir des moyens logistiques, gérer les déplacés dans les camps



## 2.2. Les modalités de transmission des ordres d'évacuation

La planification de crise prévoit que l'ordre d'évacuation suive un cheminement hiérarchique des autorités provinciales jusqu'aux populations. En premier lieu, le BPPTK émet ses recommandations au chef de district (Bupati). Le Bupati donne ensuite l'ordre d'évacuation aux chefs de canton, aux maires de commune et aux chefs de village. Enfin, les chefs de village donnent l'ordre d'évacuer aux habitants (Figure 76). L'analyse de l'événement du 26 octobre ne permet pas de relever de problèmes spécifiques de transmission de l'ordre d'évacuation.

Celle de l'événement du 4-5 novembre met en revanche en évidence trois facteurs de faiblesse qui s'opposent au bon fonctionnement de ce schéma théorique :

- D'une part, le nombre d'acteurs impliqués dans les prises de décision est un obstacle à la rapidité de transmission des informations des autorités aux populations. Le BPPTK a transmis par téléphone une recommandation d'évacuation, suivie par un ordre d'évacuer donné aux maires par téléphone puis courrier formel par le Bupati/BPDB. Les maires ont ensuite prévenu les chefs de village par téléphone ou talkie-walkie. Ces moyens de transmission ont permis de délivrer les informations dans un délai court à partir du moment où l'ordre d'évacuation a été donné par le Bupati/BPDB : moins d'une heure, d'après les entretiens réalisés avec le maire de Ngargomulyo et le chef de village de Bronggang-Suruh. En revanche, le délai entre la réception des recommandations du BPPTK et la prise de décision de l'ordre d'évacuation par le BPBD a été long : entre trois et sept heures selon les zones. Cela explique que, dans l'optique d'une mise en protection rapide des habitants lors des crises volcaniques, certains chefs de village préfèrent rester « personnellement » en contact avec les représentants du BPPTK à même de les informer directement sur l'activité volcanique et les recommandations à suivre. Outre l'implication de plusieurs acteurs, les délais d'alerte observés sont liés aux difficultés d'organisation sur le terrain. Le manque de véhicules d'évacuation et les difficultés à décider de l'emplacement de nouveaux camps ont en effet rendu les processus de décision complexes.

- D'autre part, la transmission de l'ordre reste à l'appréciation du chef de village. A Ngancar par exemple, celui-ci a refusé de donner l'ordre d'évacuation. En théorie, le village, situé à 11 kilomètres du sommet en zone KRB I, n'aurait en effet pas dû être touché par les coulées pyroclastiques selon le zonage KRB de 2006. Toutefois, l'ordre d'évacuation officiel basé sur la révision empirique des zones à risque pendant l'éruption, avait été émis. Certains habitants apeurés sont partis de leur propre initiative, d'autres ont choisi d'écouter le chef. Parmi ces derniers, trois ont été tués et 17 blessés par l'éruption du 4-5 novembre. Aucune procédure n'a été intentée contre

ce chef qui a simplement perdu sa crédibilité et son influence sur la communauté (d'après des entretiens menés fin novembre 2010 dans le camp communautaire de Kalitirto). Si les chefs de village doivent rendre des comptes directement à la population sur la façon dont les événements ont été gérés, aucun cadre juridique ne permet donc d'établir des responsabilités en cas de mauvaise gestion. En cas de désobéissance, la responsabilité individuelle est engagée.

- Enfin, dans les villages qui n'avaient pas été préparés à évacuer, l'ordre d'évacuation n'a pu être donné rapidement. L'organisation communale était en effet insuffisante pour répondre à un tel événement, notamment du fait d'un manque de personnel (jeunes / bénévoles) pour transmettre les informations. Par ailleurs, l'ordre, une fois transmis, n'a pas toujours été suivi dans des délais raisonnables par certains habitants qui n'avaient pas anticipé la préparation de leurs effets personnels pour évacuer, ou souhaitaient attendre d'autres membres de leur famille par exemple.

### **3. Personnes déplacées : nombre, distribution et gestion de camps**

#### **3.1. Nombre de personnes évacuées et répartition spatiale des camps de déplacés**

Avant l'éruption majeure (en période A), il y avait une vingtaine de camps de déplacés situés à moins de 20 km du sommet de Merapi (Figure 73). Ces camps étaient préparés pour accueillir la population située dans les zones de danger III (KRB III) comme décrit sur le plan d'urgence établi en 2009. Il y a eu environ 50 000 personnes déplacées après la première éruption du 26 octobre 2010 dans les quatre *kabupaten* exposés. Le *kabupaten* de Magelang a été le plus fortement concerné, avec environ 20 000 personnes déplacées lors des deux jours suivant la première éruption. Le nombre de déplacés a augmenté graduellement dans les *kabupaten* de Magelang, Boyolali et Klaten. Cependant, au *kabupaten* de Sleman, on note une diminution du nombre de déplacés le 29 octobre car beaucoup de gens sont repartis dans les villages. C'est en effet un *kabupaten* dans lequel les populations disposent de plus de véhicules personnels (une moto pour quatre habitants contre une moto pour six habitants dans les autres *kabupaten*) pour effectuer le trajet retour. Par ailleurs, c'est dans ce *kabupaten* que l'on compte le plus grand nombre de têtes de bétail (23 616 animaux contre 7 379 dans le *kabupaten* de Klaten, 14 547 dans le *kabupaten* de Boyolali et 19 487 dans le *kabupaten* de Magelang), notamment des vaches laitières auxquelles il faut impérativement apporter de la nourriture et des soins quotidiens. Le nombre de personnes déplacées a augmenté graduellement à partir du 1er novembre. Le 3 novembre, quand les autorités locales ont élargi la zone interdite à un rayon de 15 km du sommet au lieu de 10 km, au moins deux camps de déplacés

situés au *kabupaten* de Sleman ont été fermés (Kepuharjo et Glagaharjo) et les personnes déplacées ont été transférées dans d'autres camps plus éloignés. Une augmentation du nombre de personnes déplacées a été enregistrée le 4 novembre après l'élargissement de la zone interdite (Figure 74 et Figure 75).

Les zones interdites ont été étendues jusqu'à 20 km de sommet de Merapi dans la nuit du 4 au 5 novembre. Le nombre total de déplacés a pourtant baissé le 5 novembre. Cette baisse est attribuable à des problèmes de recensement d'une part, et à un manque de préparation aux évacuations dans les nouvelles zones, les villageois ne sachant pas où se rendre et évacuant ainsi vers des structures non officielles. Cela a aussi été le cas dans les trois *kabupaten* de Sleman, Boyolali et Magelang. Cependant, une forte augmentation de personnes déplacées a été enregistrée le 6 novembre. Plus de 100 000 déplacés ont été recensés dans le *kabupaten* de Magelang et presque 60 000 dans les *kabupaten* de Boyolali, Klaten et Sleman. A cette période, il n'y avait pas de camps prêts à accueillir les personnes déplacées dans ce nouveau rayon. Après le 7 novembre, plusieurs milliers de personnes déplacées ont été enregistrées dans d'autres régions des Provinces de Java Centre et Yogyakarta.

Le nombre total de déplacés a augmenté de façon exponentielle avec l'extension de la zone interdite (Figure 74) avec un pic le 14 novembre (399 403 déplacés). Ce pic n'intervient que 9 jours après l'explosion majeure du 5 novembre. On peut attribuer ce délai à la réalisation tardive d'un recensement exhaustif, entravé plusieurs jours par les nombreux « déménagements » de déplacés d'un camp à l'autre. Dans les deux *kabupaten* se situant sur les flancs sud et sud-est du volcan, touchés par les coulées pyroclastiques, le plus grand nombre de déplacés a été enregistré le 13 novembre : environ 120 000 pour le *kabupaten* de Sleman et plus de 100 000 pour celui de Klaten. Depuis cette date, le nombre de déplacés a baissé graduellement. Il y avait au moins 600 camps enregistrés par le BNPB, dispersés non seulement dans les *kabupaten* de Magelang, Boyolali, Klaten et Sleman, mais également dans d'autres *kabupaten* dans les alentours (Figure 73). Néanmoins, un jour après le changement de zone interdite le 13 novembre, le nombre de personnes déplacées a diminué de façon significative. Dans le *kabupaten* de Boyolali par exemple, il y avait 51 756 déplacés le 13 novembre, mais plus que 29 780 deux jours après. Cela est dû au fait que les habitants des villages situés à moins de 10 km du sommet sont retournés définitivement dans leurs villages. Lors de la période D, le nombre de déplacés a diminué légèrement dans le *kabupaten* de Sleman. Après le changement de rayon de zone interdite le 19 novembre de 20 kilomètres à 10 km du sommet pour le *kabupaten* de Sleman, le nombre de déplacés a beaucoup diminué. Plus de 40 000 personnes déplacées à Sleman sont retournées dans leurs villages le 23 novembre (Figure 75).



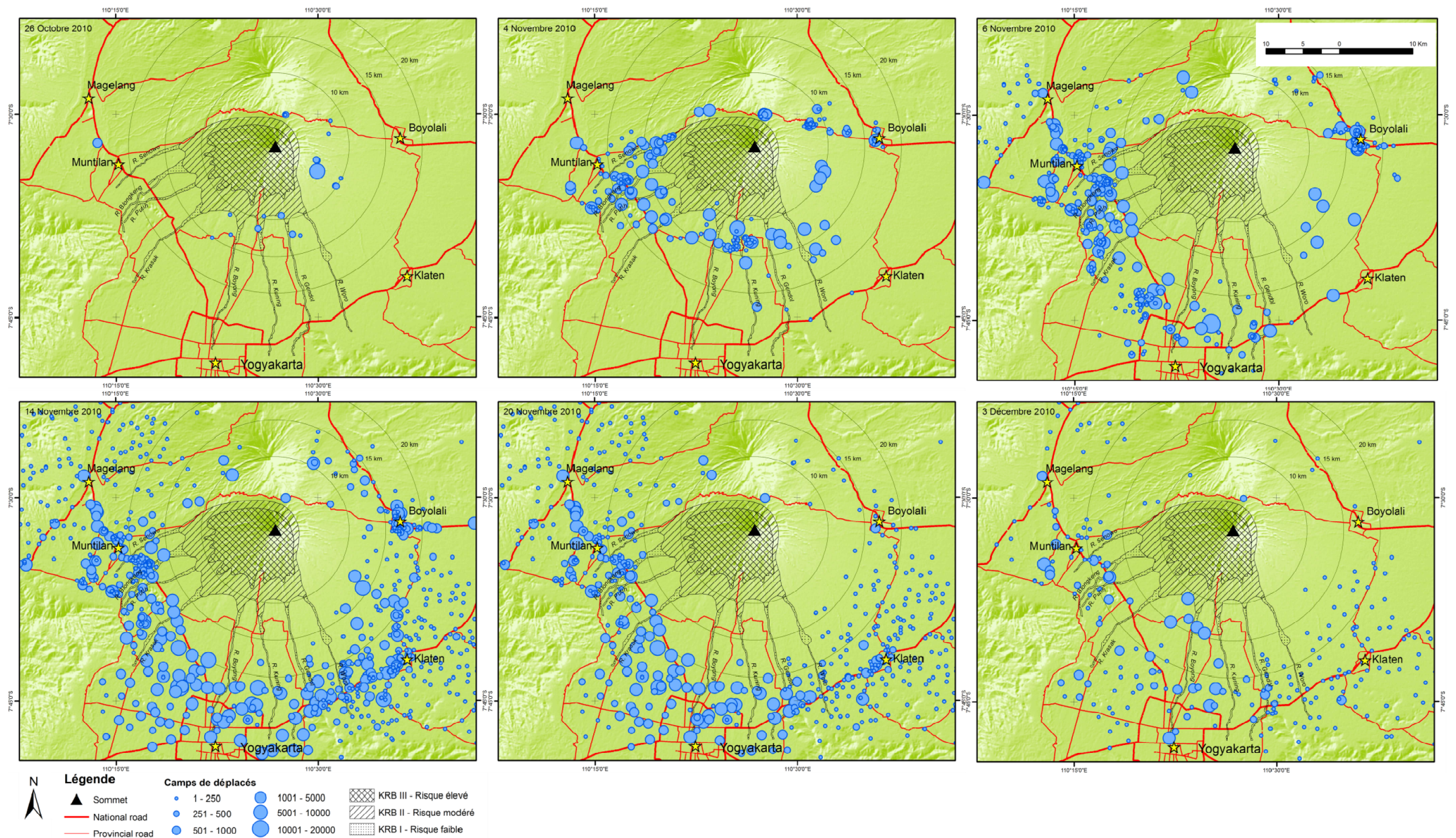


Figure 73. Répartition spatiale des camps de déplacés au Merapi en 2010





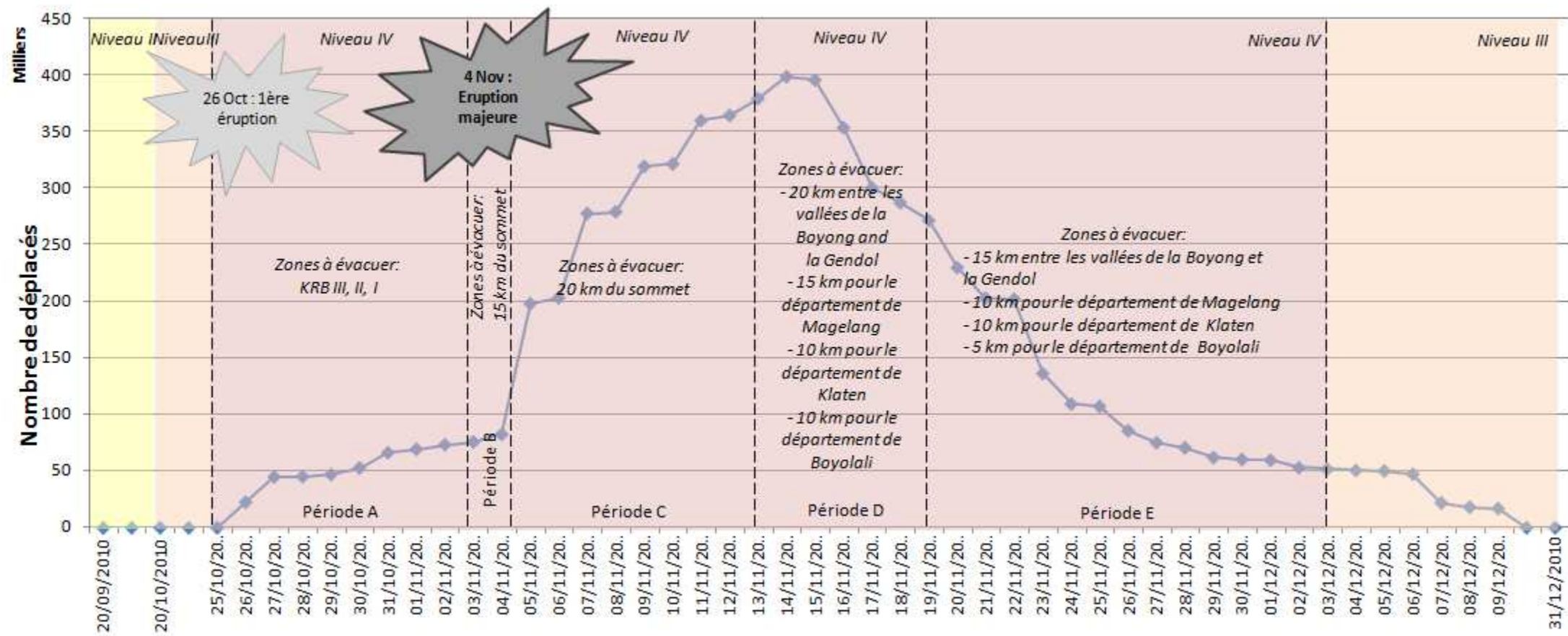


Figure 74. Nombre de personnes déplacées au Merapi en 2010

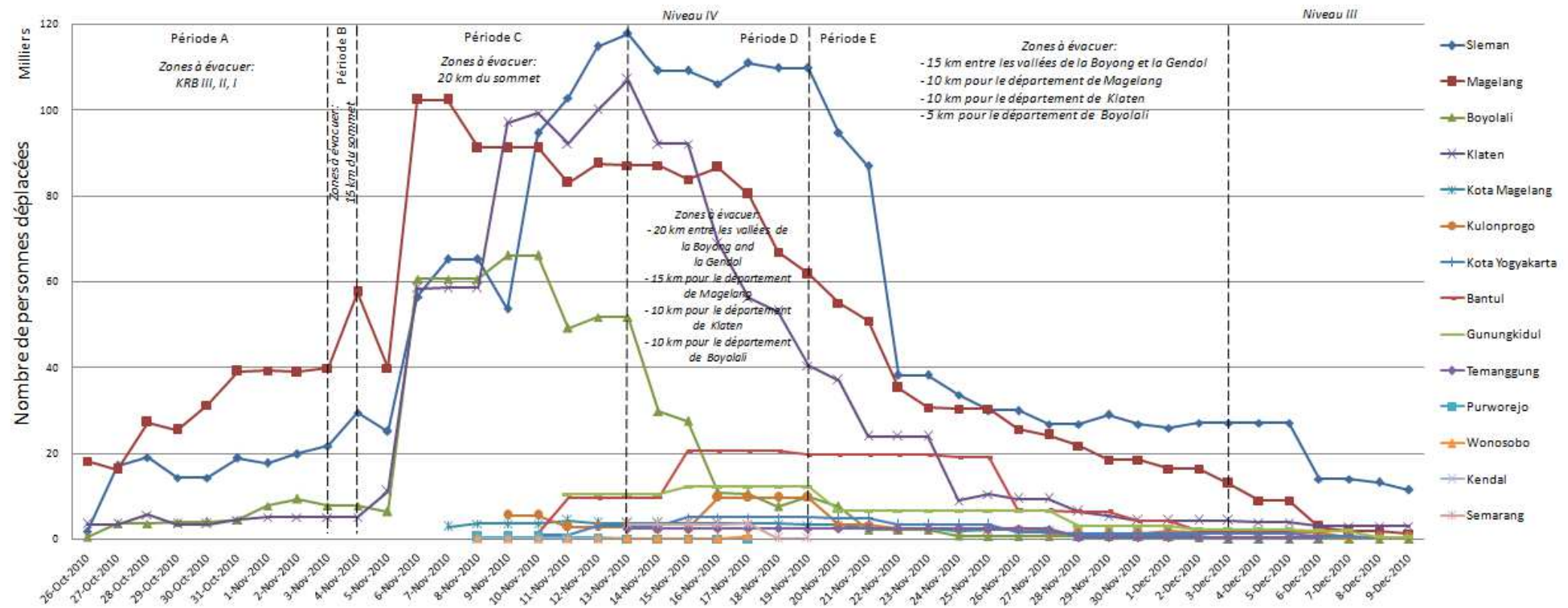


Figure 75. Nombre de personnes déplacées par kabupaten lors des périodes de crise volcanique du volcan Merapi en 2010





## 3.2. Gestion des camps de déplacés

Plusieurs camps ont été mis en place le 25 octobre 2010 par le BPPD, dès le passage en alerte volcanique de niveau IV. Le gouvernement et des ONGs ont proposé des aides aux personnes déplacées permettant d'assurer leur approvisionnement en eau, en nourriture, et en moyens sanitaires. L'éruption majeure survenue dans la nuit du 4 au 5 novembre a largement modifié les capacités d'intervention d'urgence des autorités civiles, les obligeant à adapter leurs réponses dans de brefs délais. Ce sous-chapitre décrit la gestion des camps de déplacés avant et après cette éruption paroxysmale.

### 3.2.1. Avant l'explosion majeure du 4 novembre : une gestion bien planifiée

Grâce au plan d'urgence préparé en 2009, les autorités locales se sont bien préparées à la première phase de la crise volcanique de 2010. Elles ont coopéré aux différents échelons pour organiser le déplacement des populations et la mise en place des camps (Figure 76).

Par exemple dans le *kabupaten* de Sleman (Tableau 31), la préparation pour l'activation des camps de déplacés a débuté peu de temps après que le BPPTK a annoncé l'augmentation de niveau d'alerte du Merapi, le 20 septembre 2010. Quand le niveau a été élevé à IV (awas) le 25 octobre, le gouvernement local de Sleman a ensuite activé les sept camps de déplacés se situant dans sept communes dans la zone à risque : Wonokerto, Girikerto, Purwobinangun, Hargobinangun, Umbulharjo, Kepuharjo, Glagaharjo. Ces camps étaient destinés à accueillir les villageois de chaque commune résidant en zone interdite.

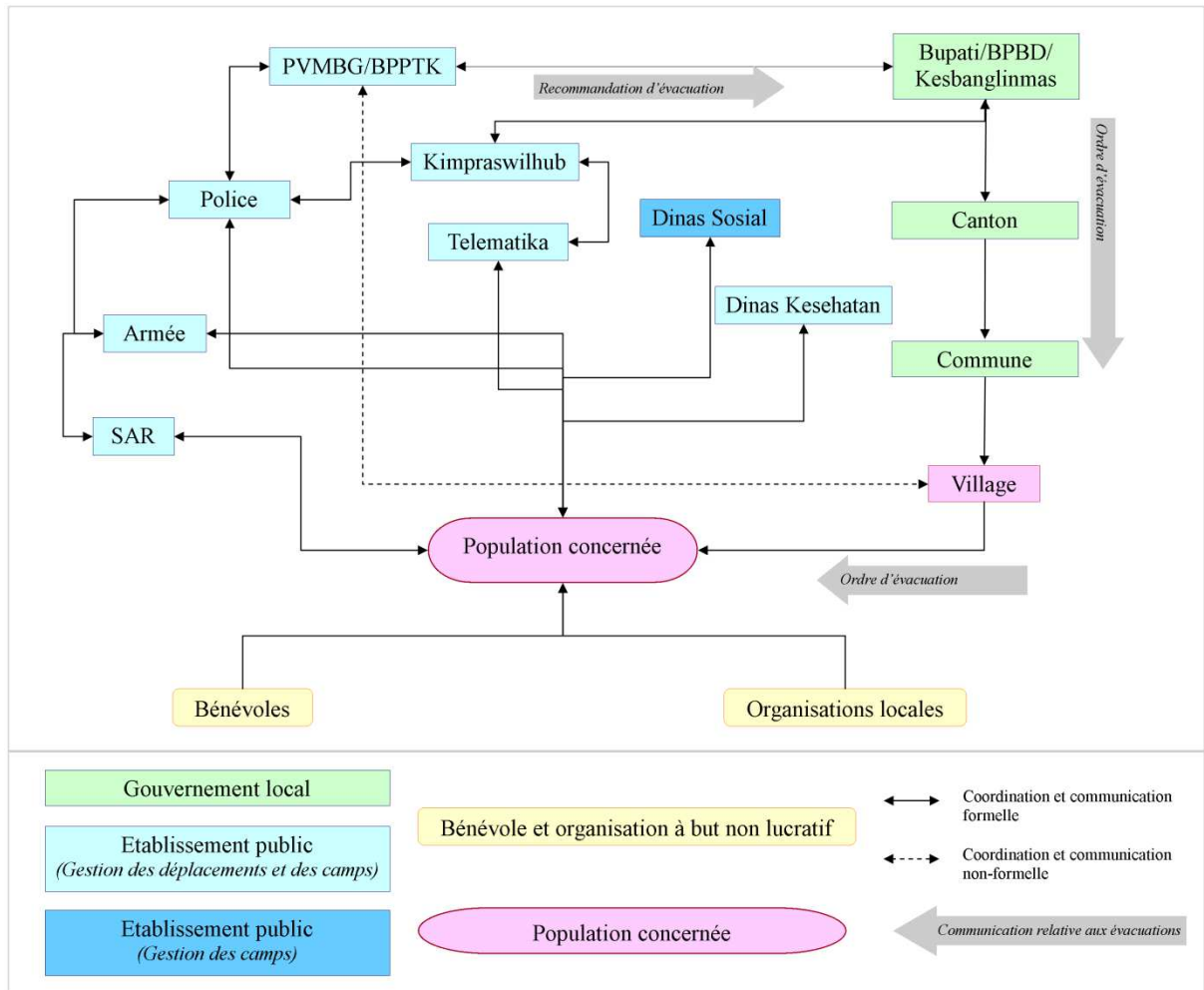


Figure 76. Coopération entre acteurs pour la gestion des déplacements et des camps

Tableau 31. Mesures prises au kabupaten de Sleman lors des périodes de crise volcanique au Merapi  
(Source : BPBD Sleman)

Date importante	Niveau d'alerte	Activités
20 Septembre 2010	Niveau II	Préparation d'activation du poste de coordination à Pakem.
		Mise à jour des données sur les communautés menacées.
		Identification des besoins pour l'activation de camps de déplacés (réunion du 6 octobre avec les institutions concernées).
		Réunion de coordination avec BBPTK le 10 octobre.
		Sensibilisation à Kinahrejo le 14 octobre et à Turgo le 16 octobre.
		Préparation du budget d'intervention d'urgence.
21 Octobre 2010	Niveau III	Réunion opérationnelle sur la gestion des crises le 21 octobre.
		Accélération des programmes d'intervention d'urgence.
25 Octobre 2010	Niveau IV	Implantation du commandement d'intervention d'urgence le 25 octobre.
		Evacuation de 13581 personnes situées en zone à risque (KRB III) le 25 octobre à partir de 07h00.
		Activation de sept principaux camps de déplacés à Wonokerto, Girikerto, Purwobinangun, Hargobinangun, Umbulharjo, Kepuharjo, Glagaharjo.
		Distribution des supports logistiques et des moyens d'évacuation.
		Activation des programmes d'intervention d'urgence dans tous les secteurs.
29 Octobre 2010	Niveau IV	Fermeture du camp de déplacés à Umbulharjo (les personnes déplacées à Umbulharjo ont déménagé à Kiyaran et Wukirsari).
31 Octobre 2010	Niveau IV	Augmentation du nombre de camps de déplacés (14 camps pour 19524 personnes).
2 Novembre 2010	Niveau IV	Augmentation du nombre de camps de déplacés (23 camps pour 21428 personnes).
4 Novembre 2010	Niveau IV	Fermeture des camps de déplacés à Kepuharjo et Glagaharjo (les personnes déplacées à Kepuharjo ont déménagé à Wukirsari et celles de Glagaharjo ont déménagé dans des camps plus éloignés du Merapi mais toujours dans la même commune) (Figure 81).
5 Novembre 2010	Niveau IV	Les personnes déplacées ont quitté le rayon de 20 km autour du sommet.
		Ouverture du camp central de déplacés au stade de Maguwoharjo (plus de 21000 déplacés).
13 Novembre 2010	Niveau IV	Modification de la zone interdite.
19 Novembre 2010	Niveau IV	Modification de la zone interdite.
		Fermeture de plusieurs camps de déplacés le 24 novembre.
		Concentration d'un seul camp central à Maguwoharjo.
3 Décembre 2010	Niveau III	Retour dans le village, sauf pour les victimes dont les maisons sont endommagées.

Selon le plan d'urgence de 2009, la capacité d'accueil de ces camps officiels était inférieure au nombre d'habitants exposés aux risques. Dans le *kabupaten* de Sleman par exemple, les camps officiels ne pouvaient accueillir que 30% de la population à évacuer, et 56% dans le *kabupaten* de Magelang. Avant l'explosion majeure, les gouvernements locaux ont essayé de combler cette insuffisance en mettant en place des tentes près des camps, générant un manque de confort et d'infrastructures sanitaires.

Les premières évacuations ont été menées pour les personnes vulnérables peu de temps après l'augmentation du niveau d'alerte (Figure 77). L'attention du gouvernement national est marquée par la visite dans les camps du Ministre du Bien-être le lundi 25 octobre à 18h00, puis du Vice-Président d'Indonésie le mardi 26 octobre. Le soutien aux populations dans les camps comprenait la soupe populaire, des services médicaux et d'assistance psychologique, les services sanitaires de base, et des divertissements. Par ailleurs, les autorités locales ont décidé de fermer les écoles situées dans la zone à risque et de transférer les activités scolaires dans les camps ou dans des écoles situées à proximité de ceux-ci (Figure 78). La répartition des personnes accueillies dans les camps a été opérée en fonction de leur niveau de vulnérabilité, les enfants, personnes âgées, et femmes enceintes bénéficiant d'un accueil dans des salles séparées de celles des autres adultes.



Figure 77. (a) Arrivée des personnes déplacées dans le camp de Kepuharjo le 25 octobre 2010 à 14h00 et (b) Personnes vulnérables dans le camp de Kepuharjo le 25 octobre 2010 à 15h00



Figure 78. (a) Installation pour la soupe populaire dans le camp de Kepuharjo le 25 octobre 2010 et (b) Activités scolaires sous les tentes au camp de déplacés

- *Distribution officielle de l'aide logistique*

A partir du 26 octobre, le BNPB a attribué 500 millions d'IDR (roupie indonésienne, un euro équivalant à environ 12 000 IDR) pour chaque *kabupaten*, le Ministère des Affaires Sociales, 500 millions d'IDR, et le Ministère de la Santé, 200 millions IDR. Certains équipements pour les camps de déplacés tels que des masques, des rations alimentaires et de l'eau potable ont été également fournis par le Dinas Sosial, le BPBD, le Ministère des Travaux Publics et la Croix Rouge indonésienne. Pour organiser la distribution de l'aide et des moyens logistiques, le gouvernement a établi un mécanisme de distribution fondé sur le Règlement du chef de BNPB No.7 2008 (Figure 79). L'aide provenant de donateurs publics et privés pouvait être transférée par le BNPB ou le BPBD, ou être livrée directement aux camps de déplacés, mais sous-coordination du BNPB ou BPBD. Les dons ont ensuite été distribués par le responsable de chaque camp aux chefs de village chargés de les dispenser aux déplacés. La gestion de la soupe populaire a été opérée par un groupe de déplacés par village (Figure 80). Des camps de déplacés ont également reçu de l'aide de l'extérieur, que ce soit par des ONGs, des universités ou du public en général. Lors de la crise du Merapi de 2010, le gouvernement national n'a pas officiellement demandé d'aide internationale.

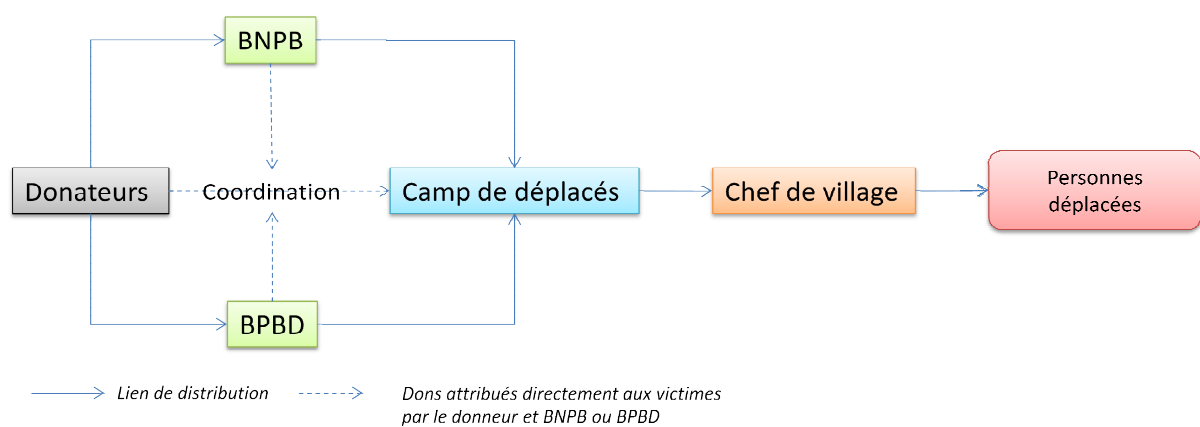


Figure 79. Mécanisme de distribution officielle de l'aide auprès des déplacés



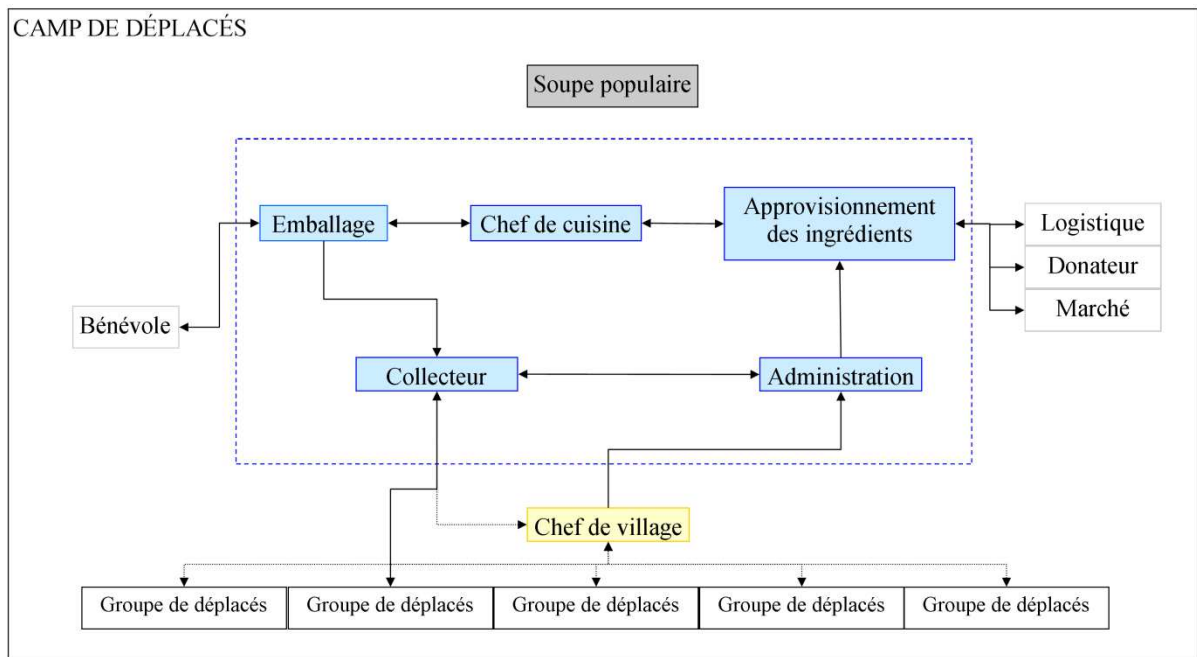


Figure 80. Mécanisme de distribution de la nourriture dans les camps de déplacés



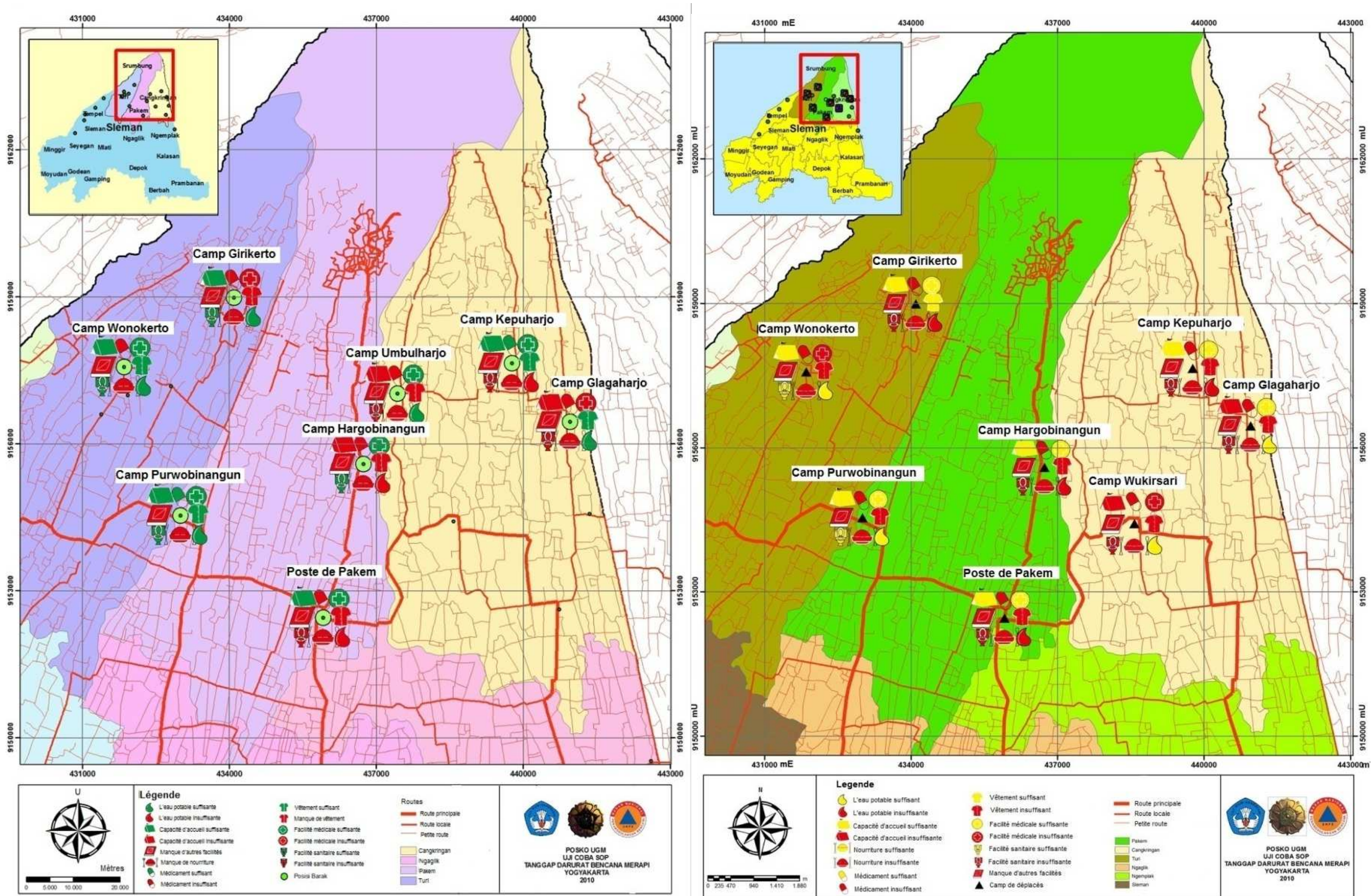


Figure 81. Répartition spatiale des camps de déplacés au kabupaten de Sleman (a) le 28 octobre 2010 à 17h00 et (b) le 30 octobre 2010 à 16h00 (Source : PSBA, 2010)





### 3.2.2. Après l'explosion du 5 novembre : une évacuation inattendue

En raison de la sous-estimation de la zone interdite sur le plan d'urgence de 2009, aucun camp de déplacés n'avait été prévu à l'extérieur de la zone de 20 kilomètres autour du sommet du Merapi (Klaten, 2009; Magelang, 2009; Sleman, 2010). Par conséquent, après l'explosion majeure survenue dans la nuit du 4 au 5 novembre, le BPPTK a décidé d'étendre le rayon de sécurité, et les gouvernements locaux de Sleman, Magelang, Boyolali et Klaten ont dû répondre rapidement à cette décision pour trouver des nouveaux camps de déplacés situés à plus de 20 kilomètres du sommet. L'absence d'anticipation du changement de rayon de zone interdite a empêché la bonne distribution de l'aide gouvernementale pendant une semaine à dix jours dans les camps ouverts en urgence.

Le gouvernement du *kabupaten* de Sleman a ensuite décidé de préparer un camp de déplacés dans un stade de football à Maguwoharjo, à 23 km du sommet. Ce site est ensuite devenu le plus grand camp de déplacés, qui a accueilli plus de 21000 évacués. Cependant, en raison de l'espace limité du stade, les évacués ont été déplacés vers d'autres camps, notamment des camps communautaires ou familiaux. Cette dynamique a également été observée dans les autres camps occupés initialement. Nous avons pu relever certaines raisons du déplacement des évacués d'un camp à l'autre : (1) aller le plus loin possible du sommet du Merapi à cause de la crainte d'une éruption beaucoup plus grande à l'avenir ; (2) se rassembler avec des gens d'un même village ; (3) ou avec la famille. À cause de ces déplacements, les autorités locales ont eu du mal à enregistrer l'intégralité des personnes déplacées. En conséquence, l'aide et la logistique ne pouvaient pas être correctement distribuées. Les réponses communautaires ont alors été primordiales pour faire face à la crise. Des vêtements, des médicaments et surtout de l'eau potable et de la nourriture ont été fournis par les collectivités locales des zones non touchées situées près des camps de déplacés (Figure 82 et Figure 83). Malgré son importance, le rôle des communautés et des organisations locales dans la gestion des aides et des supports logistiques n'est pas expliqué officiellement dans les plans d'urgence à l'échelle de *kabupaten*.

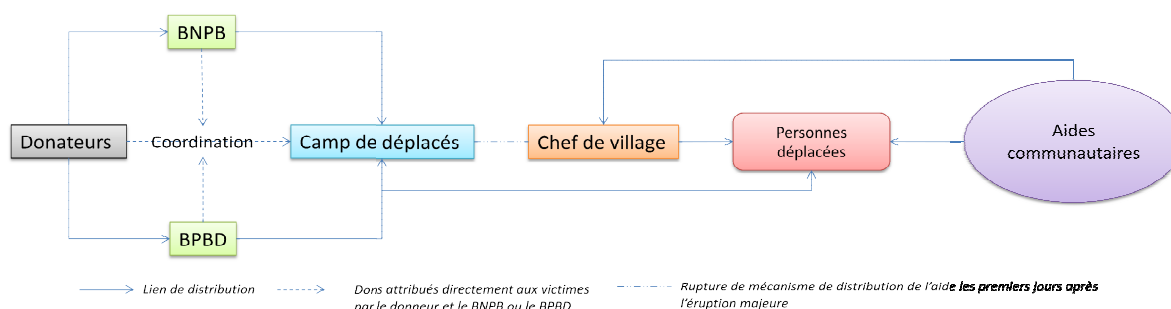


Figure 82. Réponses communautaires pour aider les personnes déplacées après l'éruption majeure du 4 novembre 2010



Figure 83. Préparation des repas pour les personnes déplacées vivant près du Stade de Maguwoharjo lors des premiers jours après le 5 novembre 2010

Trois types de camps de déplacés ont été observés lors de la période de crise du Merapi en 2010 (Figure 84): (1) les camps de déplacés officiels préparés et gérés par les autorités locales, par exemple le stade de Maguwoharjo au *kabupaten* de Sleman et le camp de déplacés de Salam au *kabupaten* de Magelang ; (2) les camps de déplacés communautaires gérés par les populations locales et diverses organisations (y compris politiques et religieuses) situées dans les zones sûres. Le soutien logistique y est fourni par des communautés, ONGs, et particuliers ; (3) les camps de déplacés familiaux dans lesquels la famille gère toute la logistique. Ainsi, les autorités locales ont eu des difficultés à enregistrer les évacués en dehors des camps officiels. Pour cette raison, les camps de déplacés communautaires et les camps de déplacés familiaux n'ont pas toujours obtenu de secours du BPBD.

En raison du manque de préparation des camps de déplacés, plusieurs difficultés ont été rencontrées :

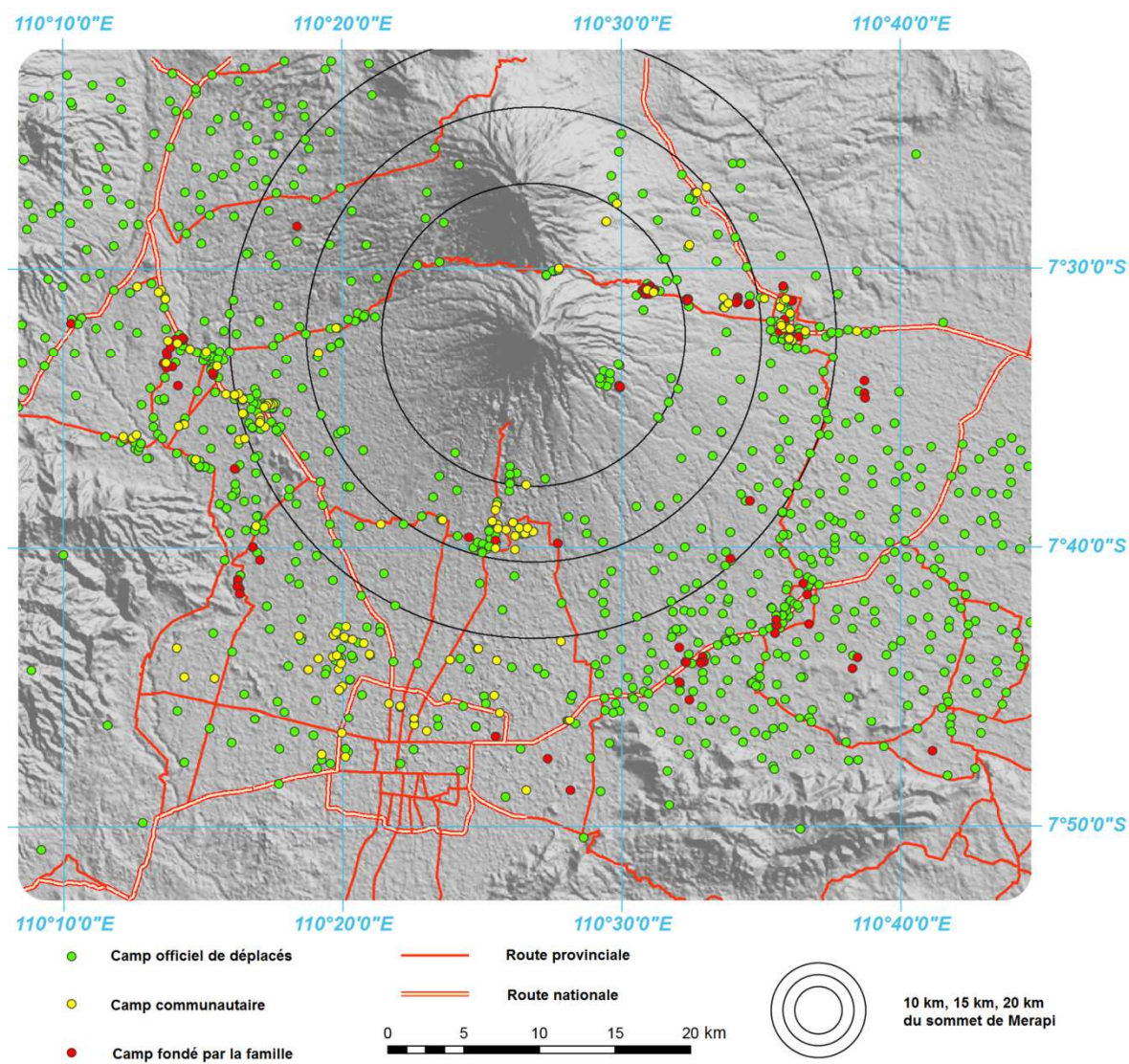
- des problèmes de santé liés aux cendres volcaniques comme l'infection des voies respiratoires, l'irritation des yeux ;
- des problèmes sanitaires liés au manque d'entretien du camp de déplacés, par exemple un nombre insuffisant de toilettes, l'absence de traitement convenable des déchets (Figure 85) ;
- des difficultés de distribution des supports logistiques. Les changements rapides de camps d'évacuation ont causé un retard dans le recensement des déplacés. Avant l'explosion du 4-5 novembre, la distribution de l'aide était réalisée par village, les évacués issus d'un même village étant hébergés dans un même camp de déplacés. Cependant, après le 5 novembre, les évacués issus d'un même village se sont réfugiés dans plusieurs camps. Souvent, ils ont changé de camp sans en avertir tout de suite le chef du village, notamment parce qu'ils ne savaient pas où celui-

ci avait évacué. La distribution de l'aide auprès des évacués a alors été confiée aux coordinateurs des camps de déplacés (personnels du BPBD dans les camps officiels, responsables des diverses organisations dans les camps communautaires). Certains responsables de camps et/ou maires et/ou chefs de village ont alors tiré profit de la situation en détournant une partie de l'aide (nourriture, couettes, vêtements).

*« Je sais qu'il y a beaucoup d'aide dans ce camp de déplacés, nous pouvons les voir à l'entrée [du camp, où sont regroupés en un même lieu tous les moyens disponibles]. Mais quand nous demandons une couette ou un matelas pour nos enfants ou même pour nos parents âgés, ils nous répondent qu'il n'y en a plus » (Entretien avec un déplacé dans le camp de Maguwoharjo, Sleman, mi-novembre 2010).*

*« Quand mon bébé a faim, je dois ramener mon bébé et mon propre bol, et faire la queue pour demander une portion de nourriture à la dame qui gère le ravitaillement. La distribution d'aide est très mal gérée. Au lieu de nous donner de la nourriture trois fois par jour, il vaudrait mieux nous la donner une fois par jour ou tous les deux jours. Cela nous éviterait de faire la queue quand le bébé a faim. » (Entretien avec une déplacée dans le camp de GOR New Armada, Magelang, mi-novembre 2010).*





Camp officiel de déplacés (Maguwoharjo)



Camp communautaire (Niron, Pandowoharjo, Sleman)



Camp familial (Kalitirto, Berbah, Sleman)

Figure 84. Localisation des camps de déplacés par type de camp en octobre-novembre 2010



Figure 85. Conditions sanitaires défavorables dans les camps de déplacés : (a) des mouches sur la nourriture (b) déchets au camp de déplacés (Photos ; Mei, 2010).

## 4. Réponses aux évacuations

### 4.1. Réponses à l'ordre d'évacuation

Selon le résultat des questionnaires que nous avons effectués auprès de 1969 personnes déplacées, l'ordre d'évacuation a été principalement donné directement par les chefs de village (54%), les sirènes (16%) et les voisins (11%), ou en utilisant des téléphones, gongs en bois (*kentongan*) et talkies-walkies (19%) (Figure 86). Ce résultat confirme le rôle primordial du chef de village dans la transmission directe de l'ordre d'évacuation au public bien que la technologie soit progressivement intégrée dans le système d'alerte au Merapi avec les sirènes. Le téléphone portable est également utilisé pour transmettre l'ordre d'évacuation car il est devenu de plus en plus commun dans les zones rurales au Merapi depuis le milieu des années 2000.

Le résultat des questionnaires distribués avant l'éruption principale (Figure 87) a montré que 81% des répondants n'ont évacué volontairement que lorsque les premières coulées pyroclastiques ont été signalées le 26 octobre à 17h30, malgré l'ordre d'évacuation donné le 25 octobre à 11h00 (PolitikIndonesia, 2010). Cette évacuation peut être qualifiée d'« évacuation face à un danger imminent ». C'est un phénomène commun sur les flancs du Merapi où les gens choisissent souvent de retarder l'évacuation jusqu'à ce que des coulées pyroclastiques ou des chutes de cendres se produisent. Un autre type d'évacuation, que nous appelons « évacuation organisée », a été mené par les autorités locales, le 25 octobre pour les villages situés dans les zones de danger III (KRB III). Cette évacuation était destinée aux personnes ayant des besoins fonctionnels spéciaux, par exemple les handicapés, les personnes âgées, les enfants et les femmes enceintes.



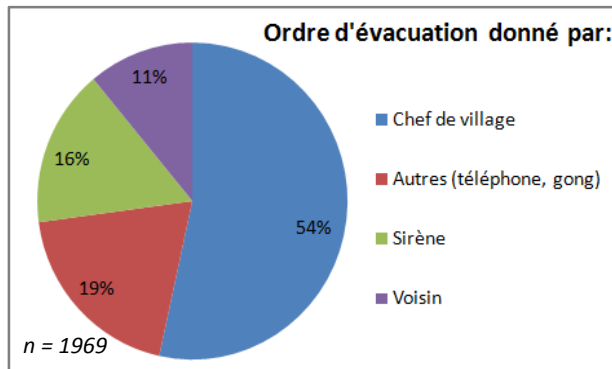


Figure 86. Sources de l'ordre d'évacuation

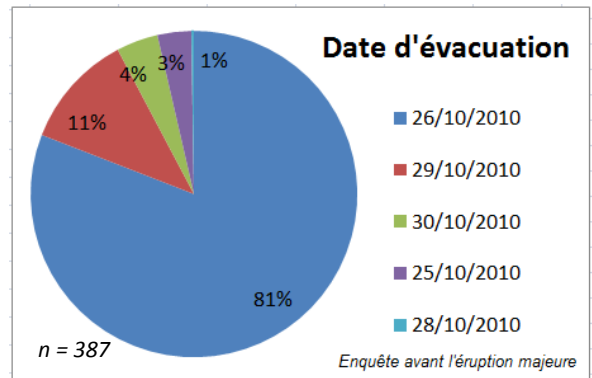


Figure 87. Date d'évacuation selon l'enquête avant l'éruption du 5 novembre du Merapi

La réticence de certains habitants à évacuer est cartographiée par *dusun* (Figure 88). On note qu'il n'y a pas eu de refus d'évacuation dans les villages qui avaient subi les précédentes éruptions du Merapi, notamment sur les flancs ouest et sud-ouest du volcan, par exemple à Turgo, village touché par l'éruption de 1994, à Gondoarum, touché en 1961 (Detik, 2006) et à Klakah, touché en 1954 (Boyolalipos, 2010).

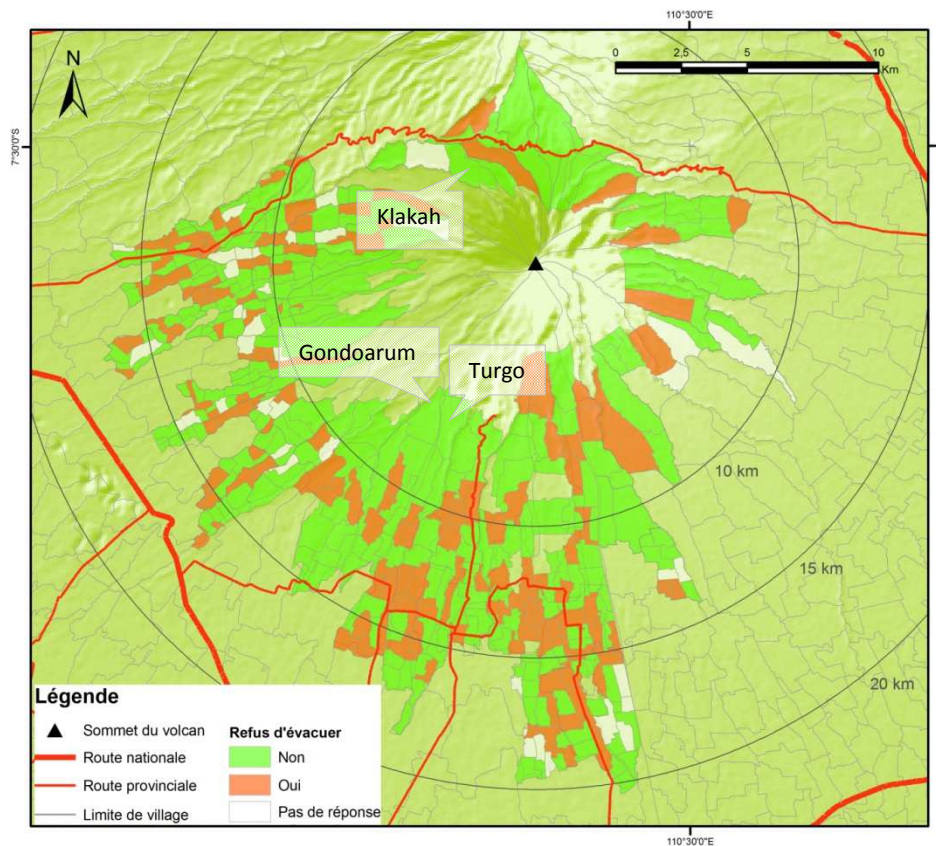


Figure 88. Refus d'évacuation dans les villages situés dans les zones interdites (Oui : au moins un refus d'évacuation dans le village concerné ; Non : aucun refus d'évacuation déclaré par le chef du village).

Le refus d'évacuation était principalement causé par des considérations socio-économiques, une mauvaise perception du risque volcanique et des croyances culturelles. Un exemple de refus d'évacuation a eu lieu dans la commune de Ngargomulyo où au moins cinq personnes<sup>15</sup> ont décidé de ne pas quitter leurs maisons pendant les périodes d'éruption, même si les autorités locales ont donné l'ordre d'évacuation. Par conséquent, tous les trois jours, les responsables du village ont dû retourner s'assurer qu'ils étaient en sécurité et disposaient des besoins primaires (nourriture et eau potable). Un autre exemple était le cas de Marijan, le gardien du volcan, qui a insisté pour rester dans sa maison située à Kinahrejo, un village 7 km au sud-est du sommet de Merapi. Le 26 octobre, Marijan et 34 autres victimes, dont certaines avaient essayé de le persuader d'évacuer, sont morts lorsque les premières coulées pyroclastiques ont balayé son village (Picquout, 2013). Des reconnaissances ont ainsi dû être réalisées par l'équipe de recherche et sauvetage et l'Armée afin de trouver des victimes, disparus, ou personnes restées dans les villages (Figure 89).



Figure 89. Evacuation par l'Armée et l'équipe de recherche et sauvetage pour trouver les victimes ou les personnes oubliées dans les villages (a) : recherche de victimes près de la vallée de Kali Gendol le 11 novembre 2010, (b) une villageoise d'Umbulharjo évacuée de force après son refus d'évacuer le 30 octobre 2010 (Detik Foto, 2010)

Pendant la plus grande éruption, dans la nuit du 4 au 5 novembre, après que l'ordre d'évacuation de quitter le rayon de 20 km du sommet de Merapi a été donné au public, les évacuations ont été opérées spontanément. Les gens ont commencé à évacuer la nouvelle zone interdite le 4 novembre à 23h30. Avec un temps limité pour préparer les affaires, et sans instructions détaillées pour évacuer, les populations ont essayé de s'enfuir de la nouvelle zone interdite. Cependant, 49 villageois de Bronggang-Suruh ont été victimes des coulées ou déferlantes

<sup>15</sup> Deux personnes âgées qui n'ont pas voulu évacuer et trois handicapés mentaux laissés par leur famille dans le village. Les personnes âgées nous ont confié préférer mourir dans leur maison/village si jamais cela devait se produire. Elles pensaient par ailleurs que le volcan ne pouvait pas leur faire de mal. De plus, elles ne voulaient pas partir dans le camp de déplacés en raison du manque d'intimité. Quant aux handicapés, ils ne bénéficient, malgré leurs besoins spécifiques, d'aucun espace d'accueil personnalisé dans le camp.

pyroclastiques en raison (Figure 90 et Figure 91): (1) du délai de réception de l'ordre d'évacuation, (2) du temps pris à préparer des affaires pour évacuer, (3) de la méconnaissance des voies d'évacuation à prendre (s'éloigner de la vallée de Gendol), et (4) sans doute de la mauvaise perception des risques dans ce village éloigné du volcan.

*« Lorsque nous avons dû évacuer, la plupart des habitants ne savaient pas où ils devaient évacuer, seulement qu'ils devaient aller loin du Merapi. La raison pour laquelle il y a beaucoup de victimes des coulées pyroclastiques à Bronggang-Suruh est que les habitants n'ont pas été préparés pour une évacuation lors des éruptions volcaniques. Beaucoup de victimes ont été retrouvées mortes devant chez elles ou sur les chemins du village, près de leurs motos ou voitures en prenant leurs affaires pour évacuer » (Suwaji, chef de village de Bronggang-Suruh, interrogé en décembre 2010).*



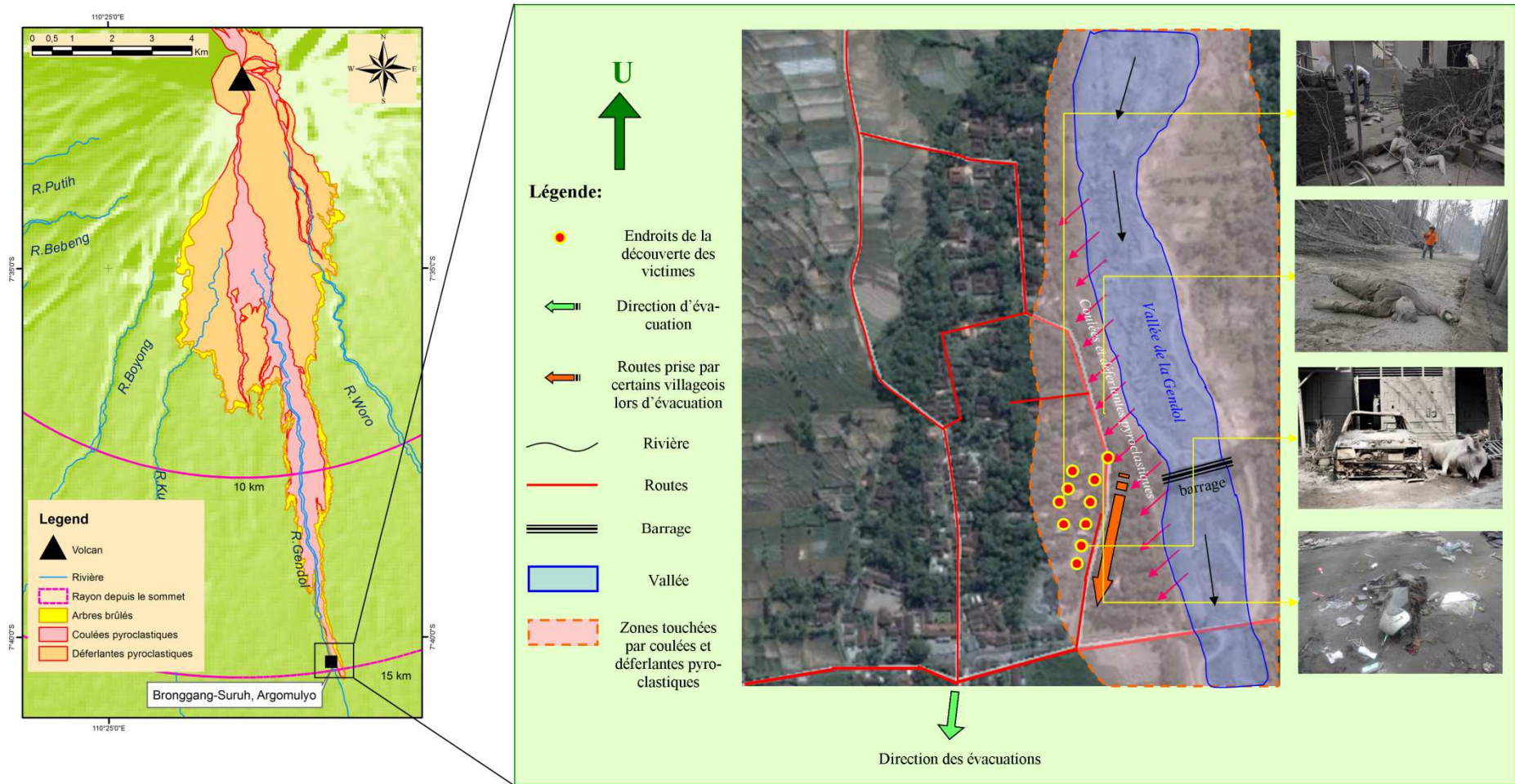


Figure 90. Evacuation tardive au village de Bronggang-Suruh dans la nuit du 4 au 5 novembre 2010





Figure 91. Affichage du nom des victimes du village de Bronggang-Suruh touchées par les coulées et déferlantes pyroclastiques lors de l'explosion de la nuit du 4 au 5 novembre 2010

Ces problèmes d'évacuation et de préparation ont été aggravés par une fausse information diffusée par une télévision nationale (RCTI) le 7 novembre. Un voyant - de fait incompetent dans le domaine volcanologique - a en effet annoncé dans l'émission de télévision SILET, très populaire en Indonésie, qu'une prochaine éruption pourrait atteindre le palais du Sultan, au coeur de Yogyakarta, voire même détruire les alentours jusqu'à 60 kilomètres du volcan. Par conséquent, beaucoup de déplacés étaient dans la confusion et ont décidé de se réfugier dans les camps de déplacés situés dans d'autres villes à Java Centre : Semarang (65 km du Merapi), Temanggung (56 km), Purworejo (50 km), Wonosobo (60 km), Gunungkidul (50 km). Le 8 novembre, la RCTI a présenté ses excuses pour la diffusion de cette fausse information (Figure 92)<sup>16</sup>. L'émission a ensuite été bannie par la commission nationale de radiodiffusion indonésienne.

<sup>16</sup> « Toute l'équipe de l'émission «Silet » s'excuse profondément de l'information du 7 novembre 2010 concernant la prédiction sur l'évolution de l'activité du Merapi. Nos condoléances à toutes les victimes de l'éruption. »

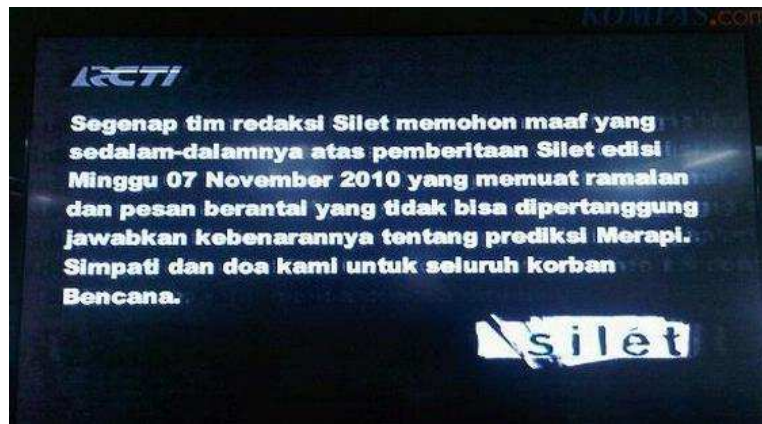


Figure 92. Réfutation de l'information et excuses de la part de RCTI après la diffusion d'une prédiction sur l'évolution de l'activité du Merapi le 7 novembre 2010

#### 4.2. Moyens de transport utilisés

D'après le résultat de la première enquête auprès des personnes déplacées avant l'éruption majeure, les camions (38%) et les motos (37%) ont été les moyens de transport les plus utilisés lors des évacuations. Selon l'enquête après l'éruption majeure, les camions ont été principalement utilisés par les villageois (50%) pour évacuer de leurs villages, tandis que les motos ont été utilisées par 32% des répondants (Figure 93). Les camions ont plutôt servi aux évacuations organisées par les autorités locales ou celles organisées collectivement par les habitants. Les autorités locales du *kabupaten* de Sleman ont ainsi préparé 39 camions pour six communes : Kepuharjo (10 camions), Umbulharjo (10 camions), Glagaharjo (7), Wonokerto (6), Girikerto (6) (Sleman, 2010). La moto est le mode de transport le plus utilisé en Indonésie, que ce soit en milieu urbain ou rural. Par conséquent, les motos ont joué un rôle important lors des évacuations au Merapi notamment pour les évacuations spontanées (Figure 94). Chaque foyer au Merapi possède au moins une moto, utilisée simultanément par une à cinq personnes pendant l'évacuation. Cependant, ceux qui n'avaient pas accès à un véhicule personnel ont dû compter sur le transport fourni par les gestionnaires d'urgence ou les autorités locales, qui demandaient aux chauffeurs de camions commerciaux ou aux habitants ayant des voitures ou des camions de faciliter l'évacuation, comme ce fut le cas dans la commune de Ngargomulyo. Les camions et les voitures étaient surtout destinés aux personnes vulnérables.

*« Nous avons demandé aux résidents ayant des camions ou des voitures de transporter les personnes ayant un accès limité aux transports. La commune a ensuite donné un soutien en payant le coût du carburant » (Yatin, maire de la commune de Ngargomulyo, le 23 Janvier 2011).*

Cependant, en raison du nombre insuffisant de moyens de transport, les autorités locales ont dû faire au moins deux allers-retours pour évacuer les villageois.

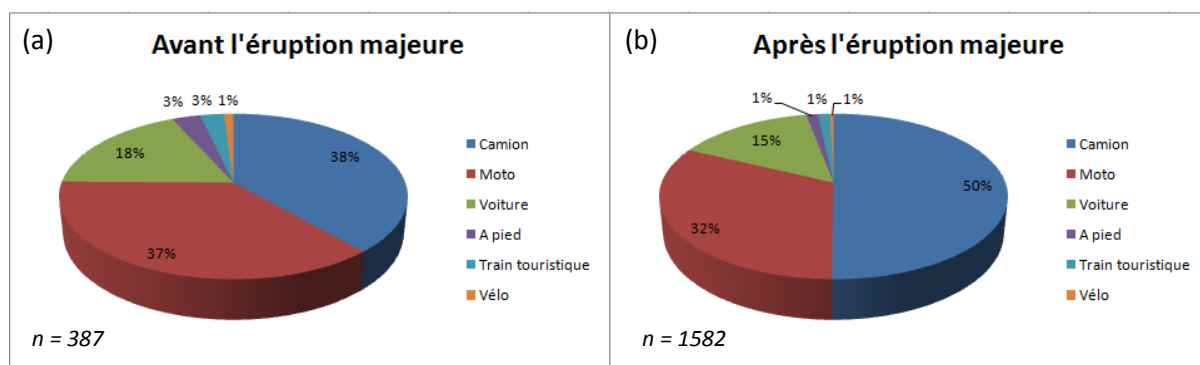


Figure 93. Moyens de transport utilisés lors des évacuations : enquête avant (a) et après (b) l'éruption majeure de la nuit du 4 au 5 novembre

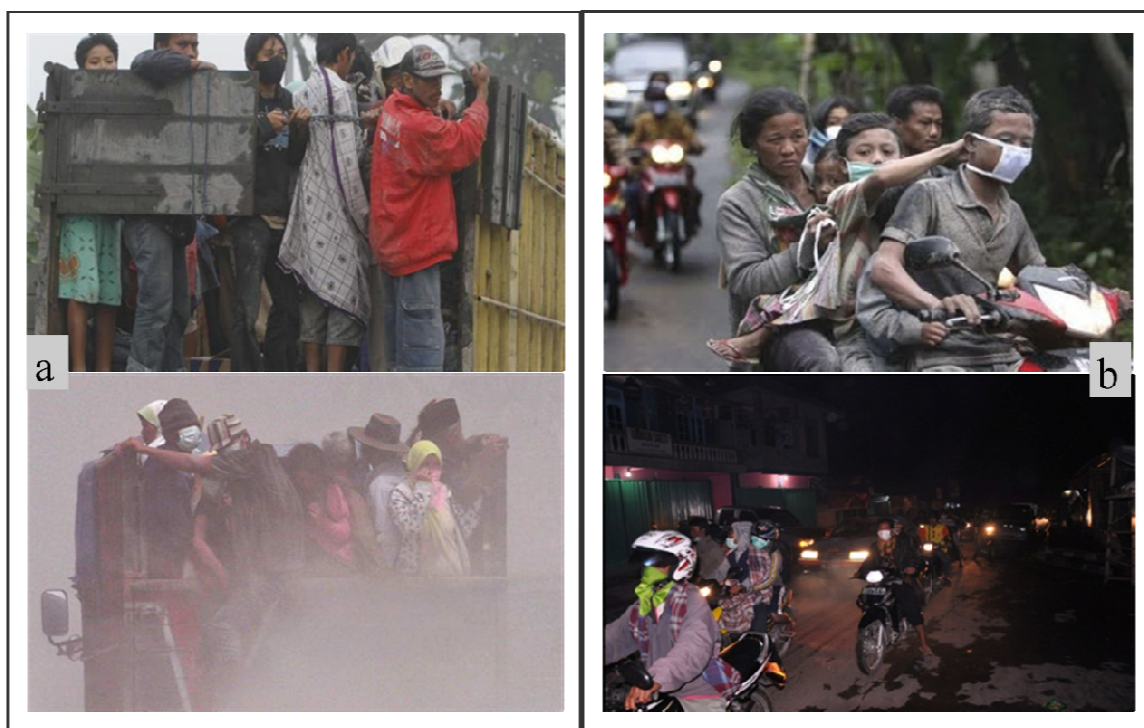


Figure 94. Moyens de transport utilisés lors des évacuations : (a) Évacuations organisées en utilisant les camions pour déplacer les habitants de la zone interdite (Detik Foto, 2010), (b) Évacuations spontanées en utilisant les motos (gauche : le 26 octobre 2010 ; droite : la nuit du 4 au 5 novembre 2010) (Detik Foto, 2010)

### **Spécificités des évacuations d'établissements hospitaliers et carcéraux**

Trois hôpitaux se situent à moins de 20 kilomètres du sommet du Merapi : l'hôpital psychiatrique « RS Ghrasia », les hôpitaux régionaux « RS Pakem » et « RSU Muntilan », ainsi qu'un établissement pénitentiaire pour les toxicomanes « Lapas Narkoba Pakem ». Quand les autorités locales ont augmenté le rayon de zone interdite jusqu'à 20 kilomètres dans la nuit du 4 au 5 novembre 2010, ces établissements ont eu des difficultés à faire face à la crise (manque de moyens de transport et de préparation pour remplacer les installations requises).

Citons l'exemple des difficultés rencontrées par l'hôpital psychiatrique « RS Ghrasia », situé à 13 km du sommet du Merapi. Au cours de la première période de déplacement (période A, § cf.5.1.2), il y avait 83 personnes hospitalisées, dont certaines victimes de l'éruption du 26 octobre. Le responsable de l'hôpital a décidé d'évacuer les patients le 5 novembre, suite à l'extension du rayon de sécurité à 15 kilomètres du sommet intervenue le 4 novembre. Cependant, l'explosion qui s'est produite dans la nuit du 4 au 5 novembre a impliqué de transférer des patients en urgence dans la nuit vers un bâtiment du Département de Transmigration à Yogyakarta (25 km au sud du Merapi), en utilisant un car, deux ambulances, et deux voitures privées. Deux allers-retours pour transférer les patients ont été nécessaires en raison du manque de moyens de transport. Les évacuations se sont donc finies vers 01h30 le 5 novembre.

Par ailleurs, le bâtiment pour accueillir les patients n'était pas adapté pour les malades. Le lendemain ils ont dû être transférés dans un établissement social plus adapté. On mesure à travers cet exemple les faiblesses du système d'évacuation / d'accueil de personnes fragiles ou dangereuses. Ces publics spécifiques ne sont pas pris en compte dans les plans d'urgence. Cette carence n'est pas spécifique à l'Indonésie et se pose lors de catastrophes naturelles dans le monde (prisonniers laissés à leur propre sort dans les prisons de la Nouvelle-Orléans lors de l'ouragan Katrina par exemple (Lesnes, 2006).

### **4.3. Évacuation du bétail : un problème majeur dans la gestion des évacuations au Merapi**

Lors de l'éruption, la majeure partie du bétail a été laissée dans les villages. Une partie du cheptel a toutefois pu être évacuée dans les camps de déplacés ou les maisons des familles. Parfois, le bétail a été évacué plusieurs fois dans des camps différents en raison des changements de zone interdite.

*« Les habitants ont abandonné leur bétail à la maison à cause du nombre élevé de têtes de bétail, du système d'évacuation qui n'est pas bien préparé, de l'incertitude des coûts d'entretien et des frais de transport élevés. Tout cela a encouragé les habitants à retourner*

*dans le village lors de la période de crise, notamment le matin<sup>17</sup>, puisque le bétail est un des moyens d'épargne pour la population » (Yatin, le maire de la commune de Ngargomulyo, le 23 Janvier 2011).*

#### **4.3.1. Le bétail laissé dans les villages**

Lorsque le Merapi est entré en éruption, les agriculteurs n'étaient pas officiellement autorisés<sup>18</sup> à retourner dans les villages pour nourrir les animaux. En conséquence, les vaches n'ont pas mangé, bu, ni été traitées pendant trois à quatre jours. A cause des chutes de cendres, l'eau potable et l'herbe fraîche pour le bétail étaient difficiles à trouver au Merapi. Les cendres volcaniques collées sur l'herbe contenaient de la silice et du soufre. Ces derniers peuvent causer l'inflammation des voies respiratoires, la réduction de production de lait, la perte de poids et parfois la mort pour les animaux. Afin de résoudre ce problème, des éleveurs de bovins ont dû acheter du fourrage provenant d'autres régions et le transporter au village. Cette solution est à la fois coûteuse et dangereuse. L'herbe fraîche est très chère (une vache a besoin d'une quantité d'herbe qui coûte environ deux euros par jour) et le prix de transport élevé. Le retour au village était extrêmement dangereux puisque le volcan était encore en pleine éruption, mais les habitants ont pris ce risque pour protéger leur épargne.

#### **4.3.2. Le bétail évacué dans les camps**

Plusieurs évacuations de bétail ont été effectuées par les autorités locales et par les habitants, notamment sur le flanc sud du Merapi (Figure 95). Ces évacuations ont eu lieu alors que le Merapi était au niveau IV (awas). Par exemple, l'évacuation du bétail dans le village de Ngepring, situé 6 kilomètres du sommet, a été effectuée en deux étapes : (1) les bovins ont été d'abord évacués pendant sept jours depuis le 1<sup>er</sup> novembre 2010 près du camp de déplacés de Purwobinangun, situé 12 kilomètres du sommet, (2) ensuite, les bovins ont à nouveau été évacués pendant douze jours dans un camp se situant plus loin du sommet, à Sleman (18 kilomètres depuis le sommet).

---

<sup>17</sup> La traite des vaches devant être faite le matin, et le ciel généralement plus dégagé permettant une surveillance visuelle du sommet du volcan.

<sup>18</sup> Selon la réglementation du Bupati Sleman No 326/Kep.KDH/2010 concernant la zone interdite au Merapi.



Bien que les autorités locales et les défenseurs d'animaux aient fourni des secours pour le bétail, la quantité d'aliments donnée aux animaux n'était pas suffisante et les conditions dans le camp inadaptées à l'accueil de bétail (Figure 95). Cela a causé une diminution de la production de lait et la perte de poids chez les animaux. D'autre part, en raison de l'absence de l'investissement des coopératives laitières lors de l'éruption, le lait n'était pas vendu et était uniquement distribué gratuitement aux personnes déplacées. En conséquence, les agriculteurs ont perdu tout ou partie de leur revenu.



Figure 95. Evacuation du bétail : (a) Bétail évacué par l'armée à Kinahrejo le 28 octobre 2010 après la première éruption (Antarafoto, 2010), (b) Camp temporaire pour le bétail à Kebonarum, Klaten, le 6 novembre 2010

En raison de ces coûts, plusieurs agriculteurs ont choisi de vendre leur bétail à perte. Le prix habituel pour une vache est approximativement de 7 à 10 millions d'IDR - soit 500 à 800 euros -, mais pendant l'éruption il est descendu à environ 2 à 5 millions d'IDR, soit 180 à 400 euros. Cette chute des prix est partiellement imputable à la perte de poids des animaux. Par ailleurs, l'éruption du Merapi a coïncidé avec la fête musulmane du sacrifice, l'Aïd al-Adha, où la demande en animaux, notamment en vaches et chèvres, augmente. Les commerçants de bétail ont tiré profit de cette situation en achetant de bétail à un prix inférieur à celui du marché. En contrepartie, le gouvernement a pris des mesures de sauvegarde du secteur agricole en indemnisant les habitants du Merapi pour le bétail vivant et mort leur appartenant. Plusieurs niveaux d'indemnités ont été instaurés en fonction du type et de l'âge du bétail : environ 10 millions d'IDR pour une vache laitière (800 euros), environ 22 000 IDR (soit 2 euros) par kilogramme pour un bovin de boucherie. Le gouvernement avait fixé le 1<sup>er</sup> décembre 2010 comme date limite pour l'identification des bovins, mais le processus de collecte de données n'a pas été achevé dans les temps. Certains éleveurs de bovins ont alors été contraints de vendre leur bétail en raison des coûts d'entretien très élevés. Le



retour de certains habitants dans leur village n'est pas seulement lié au besoin de nourrir les animaux, mais également à leur crainte de vols de bétail. Lors des crises des dernières années, les zones interdites ont régulièrement été la cible de voleurs en période d'évacuation. Les communautés anticipent désormais ce problème de sécurité en confiant aux hommes du village la réalisation de rondes de jour comme de nuit. Cette solution est critiquable dans la mesure où elle conduit ces villageois à s'exposer à l'aléa volcanique.

## 5. Retour au village

### 5.1. Chronologie des retours dans les villages

Nous avons pu classer chronologiquement trois types de retours dans les villages.

#### 5.1.1. Retour dans les zones interdites pendant la période de crise

Lors de la période de crise du 25 octobre au 4 novembre 2010 (périodes A, B, C, §cf.5.1.2), les habitants ont insisté pour rentrer temporairement au village (68 % des répondants) malgré les menaces liées au Merapi (Figure 96). Ces retours de village ont été réalisés individuellement au moyen de motos ou collectivement par les déplacés d'un même village en utilisant des camions ou voitures (Figure 97). Par exemple, les déplacés du camp de Bawukan, situé à 14 km du sommet, retournaient dans leur village, Kalitengah Lor, situé à moins de 6 km du sommet, avant l'explosion du 4 au 5 novembre. Cependant, après l'explosion majeure, les déplacés souhaitant retourner dans leur village étaient moins nombreux (52 %).

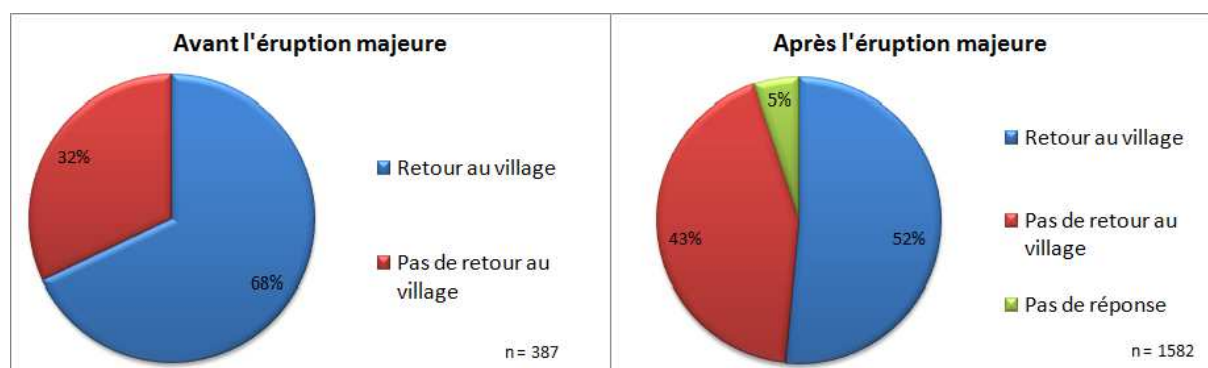


Figure 96. Retours temporaires au village lors des périodes de crise de 2010



Figure 97. Retours au village pour nourrir les animaux : (a) Résidents de Sidorejo retournant au village pour nourrir leurs animaux le 4 novembre 2010 (Antarafoto, 2010), (b) Transport collectif des herbes vers le village (Antarafoto, 2010)

Comme évoqué par 72 % des gens interrogés (Figure 98), la décision de retour au village n'est pas liée à un manque de confiance dans le gouvernement ou les volcanologues, mais à des raisons économiques et pratiques. Lors de la période précédant l'éruption majeure, les gens sont retournés en journée au village afin de prendre une douche et nourrir le bétail. Après l'explosion du 4 novembre, ils souhaitaient plutôt observer les conséquences de l'éruption sur leurs habitations (Figure 99). Ces retours étaient effectués par les hommes ou les jeunes, tandis que les enfants, les femmes et les personnes âgées sont restés dans les camps de déplacés. Même si les bénévoles et les officiels ont appelé plusieurs fois la population à ne pas rentrer chez elle avant que la menace ait disparu, les villageois sont régulièrement rentrés pour leurs besoins économiques et pratiques. Les autorités locales ont essayé de les en empêcher en fermant les routes principales, mais les déplacés ont pu retourner dans leurs villages en prenant les petits chemins sans surveillance. Nous remarquons aussi qu'en raison de la sensibilité du sujet, 5% des répondants n'ont pas souhaité répondre à la question « êtes-vous retourné dans le village au cours de la période éruptive ? » (Figure 96).

*« Le fait que les villageois soient retournés dans leurs villages est au-delà du contrôle du gouvernement. Il y a beaucoup de petits chemins pour rentrer aux villages, par conséquent, il est impossible de tous les fermer un par un. Si les gens ne sont pas disposés à obéir à l'appel du gouvernement, cela relève de leur responsabilité » (Djoko Rukminto, chef de Kesbanglinmas du kabupaten de Sleman, avril 2011).*

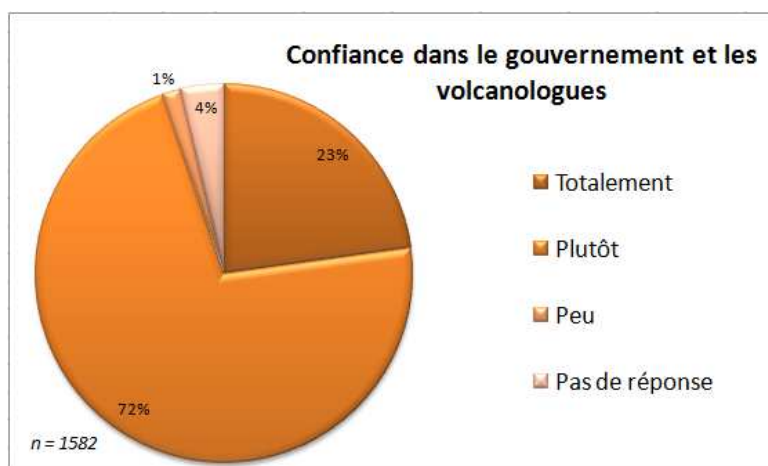


Figure 98. Confiance dans le gouvernement et les volcanologues

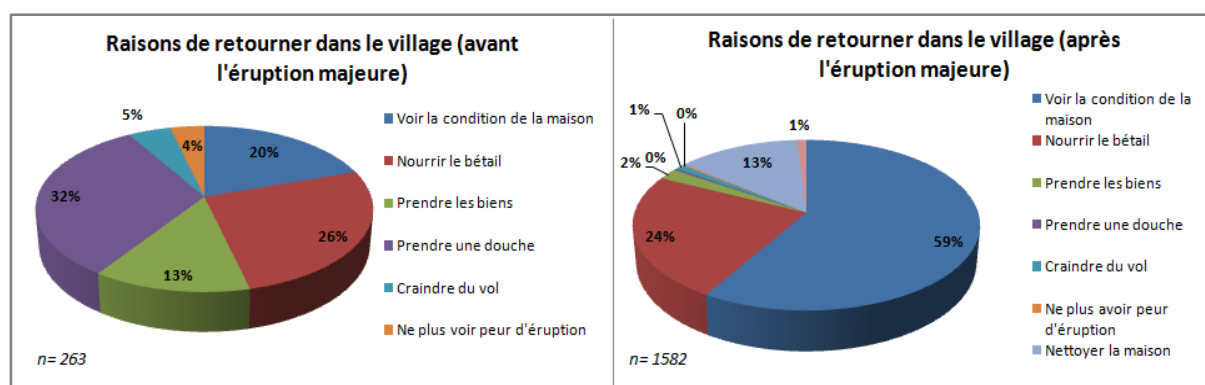


Figure 99. Raisons des retours temporaires au village lors de la crise de 2010

### 5.1.2. Retour dans les villages après les changements du rayon de zone interdite (période D et E)

Suite à la modification du rayon de sécurité le 13 novembre 2010, des déplacés des villages situés en dehors du zonage KRB ou du rayon 20 kilomètres depuis le sommet ont commencé à retourner dans leurs communes. Après le changement de zone interdite le 19 novembre 2010, les déplacés ont ensuite quitté progressivement les camps, à l'exception des déplacés issus des villages détruits. Ces mouvements ont d'abord débuté par les hommes et les jeunes, suivis des femmes et des enfants. Cependant, beaucoup de gens avaient encore peur de rester au village la nuit. Par conséquent, la plupart d'entre eux dormaient dans les camps la nuit et retournaient dans le village la journée pour réparer leurs maisons endommagées.

### 5.1.3. Retour officiel après la baisse du niveau d'alerte

Après la diminution du niveau IV d'alerte au niveau III, le 3 décembre 2010, les villageois sont rentrés progressivement et définitivement dans leurs villages. Les villageois qui sont rentrés étaient ceux dont les maisons étaient encore habitables et situées dans les régions non affectées par les coulées pyroclastiques. Le rapatriement des habitants a été organisé collectivement par les autorités locales. Les habitants du village de Kaliurang ont par exemple été déplacés en utilisant les cars fournis par le *kabupaten* de Sleman. Ces rapatriements ont été effectués en plusieurs étapes à cause du manque de moyen de transport. Par conséquent, beaucoup de villageois ont reporté leur retour au village et attendu plus longtemps dans les camps. Les déplacés dont les maisons ont été endommagées par les déferlantes pyroclastiques sont restés dans les camps en attendant les nouveaux abris temporaires fournis par les autorités locales.

## 5.2. Conditions post-crise et résilience

Après la crise, les habitants des villages détruits par les coulées pyroclastiques n'ont pas pu retourner dans leurs maisons, ils ont donc été relogés dans des abris temporaires appelés « *shelter* » en anglais, terme que nous conserverons. D'autres habitants des villages non touchés par les coulées pyroclastiques sont retournés dans leurs maisons et ont essayé de revenir à la vie quotidienne normale.

### 5.2.1. Les « *Shelter* », abris temporaires

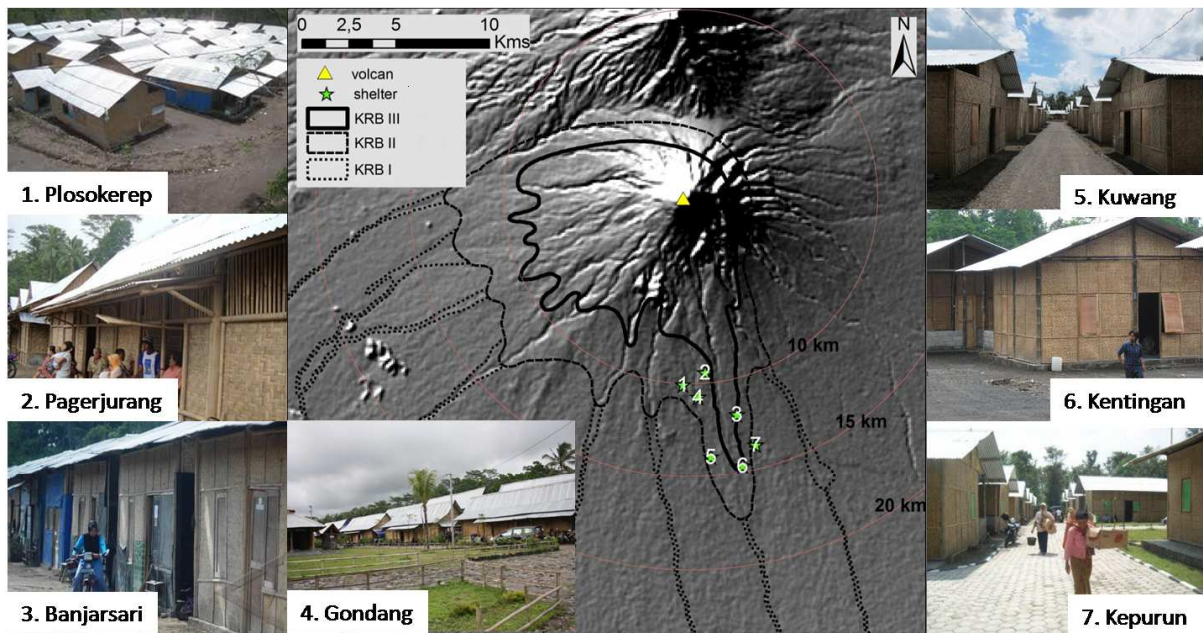
Peu de temps après l'éruption, le gouvernement a commencé une évaluation des dégâts et des pertes (*Damage and Loss Assessment*) et une évaluation des besoins de rétablissement (*Human Recovery Need Assessment*) avec pour objectif de connaître l'ampleur des conséquences afin d'établir des priorités d'intervention et des stratégies de rétablissement. Le bilan fait état de 2636 maisons complètement détruites, 156 gravement endommagées et 632 légèrement touchées par l'éruption du Merapi (BNPB, 2011). Ces résultats sont recoupés par les études de Jenkins et al. (2013) et Picquout (2013) qui mentionnent plus de 2200 maisons endommagées par les coulées pyroclastiques, dont 1600 irréparables.

Comme indiqué dans la carte KRB créée par le CVGHM, les villages situés dans les zones KRB III ne peuvent désormais plus être utilisés comme zones d'habitation. Cette proposition est appuyée par la loi No.24/2007 article 32 sur la gestion des catastrophes qui affirme que le gouvernement

peut interdire l'habitation dans les zones à risque et à cet effet retirer ou réduire tout ou partie des droits de propriété individuelle sur un terrain (BNPB, 2011).

Afin de décourager les gens de s'installer dans les zones KRB III, le gouvernement local a mis en place des mesures de relocalisation. Le 20 novembre, le gouvernement local de la province de Yogyakarta a déclaré la construction de sept centres d'hébergement temporaire pour les victimes de l'éruption dont les maisons ont été complètement détruites par les coulées et les déferlantes pyroclastiques (Figure 100). La localisation des centres a été choisie par les autorités locales à l'extérieur des zones KRB III, en dehors de la portée des lahars, et sur un terrain appartenant à la commune.

Les abris ont été construits par les gouvernements locaux, et de nombreuses institutions, universités ou ONGs. Les personnes déplacées y ont déménagé à la fin décembre 2010. Jusqu'au 10 avril 2011, le gouvernement a construit 2636 logements temporaires où sont déjà installés 2290 foyers, alors que 346 foyers vivent encore dans les camps de déplacés (Kompas, 2011). Chaque groupe d'abris a été construit pour accueillir ensemble les habitants d'un même village. Les abris de 64 m<sup>2</sup>, dont 36 m<sup>2</sup> habitables, construits en bambou, sont équipés avec l'eau potable et l'électricité. Le coût par unité est d'environ 6 à 7 millions d'IDR (500-600 euros).



No.	Kecamatan	Maisons détruites	Localisation	Superficie (ha)	Distance (km)
1	Umbulharjo	283	Plosokerep	3	10,1
2	Kepuharjo	802	Pagerjurang	10	9,3
3	Glagaharjo	828	Banjarsari	7,5	11,5
4	Wukirsari	340	Gondang	3	10,2
5	Argomulyo	258	Kuwang	8	13
6	Sindumartani	15	Kentingan	n.a	15
7	Balerante	166	Kepurun	n.a	14

Figure 100. Abris temporaires « shelters » sur les flancs du Merapi suite à l'éruption de 2010

### 5.2.2. Phase de redressement ou de récupération post-catastrophe (recovery stage)

Trois étapes ont été traversées par les communautés jusqu'au retour à la vie normale: les phases de dépendance, de transition, et de retour à la vie normale (Figure 101).

#### (1) Phase de dépendance

Dans la plupart des villages sur les flancs du Merapi, les cendres volcaniques ont causé beaucoup des dégâts aux maisons, à l'agriculture, et à l'élevage, affectant les moyens de subsistance des communautés. Afin de minimiser les conséquences sur la population, les gouvernements locaux ont dégagé des aides, dont le montant était fonction du niveau de dommages, attribuées sous forme de matériaux de construction, d'argent, ou d'aide alimentaire. Parallèlement, les habitants ont travaillé collectivement pour reconstruire ou réparer les dommages (système de solidarité communautaire appelé *gotongroyong*).



## (2) Phase de transition

Au cours de la période de récupération, les villageois ont bénéficié d'aides du gouvernement jusqu'à 5000 IDR par personne et par jour, soit 12 euros par personne et par mois pendant environ trois mois, de décembre 2010 à février 2011. Ces aides n'étaient pas suffisantes pour couvrir les besoins quotidiens puisque le coût de vie mensuel est d'environ 75 euros par mois<sup>19</sup>. Les premiers mois après le retour au village ont constitué une période difficile pour la population : eau potable difficilement accessible, affections des voies respiratoires liées à la cendre volcanique, difficultés à trouver de l'herbe pour nourrir le bétail, et, le plus important, difficultés à replanter les terres en raison de l'épaisseur et de la compacité des cendres sur les terrains agricoles. Les villageois se sont adaptés à la situation : en plantant des légumes pour la consommation quotidienne hors-sol (dans des sacs plastique dans le jardin ou devant chaque maison), et en pratiquant l'extraction de matériaux volcaniques dans les rivières. Cependant, selon nos observations à Ngargomulyo par exemple, l'activité d'extraction était réservée aux habitants les plus forts physiquement. D'après les discussions de groupe dans ce village, l'activité a globalement cessé en décembre 2010, les autorités locales et les villageois la jugeant peu durable pour l'environnement.

## (3) Phase de retour à la vie normale

Après quelques mois, les activités quotidiennes ont repris leur cours « normal ». Les habitants ont pu retourner travailler aux champs. Pour aider les habitants ayant perdu leur bétail lors de l'éruption, le gouvernement a versé une indemnisation de 8 millions IDR par vache, mais aucune compensation pour les plus petits animaux (chèvres, moutons, poules, etc.). En outre, des programmes de « retour à la vie normale » ont été mis en place par le gouvernement pour aider les habitants dans les abris temporaires : « argent contre travail » pour le nettoyage de l'environnement et la reconstruction des canaux d'irrigation ; formations à l'artisanat, la cuisine, etc. Les habitants issues des villages détruits et de KRB III ont eu la possibilité de créer un projet d'activité économique collective, ensuite financé par le gouvernement local. Les villageois ont utilisé cette opportunité afin de retrouver leur indépendance économique.

---

<sup>19</sup> UMR (salaire minimum régional) de la Province de Java Centre et DIY de 2010 (BPS, 2010)



Figure 101. Phase de retour à la vie quotidienne

## 6. Discussion et conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la chronologie de l'éruption et celle des évacuations. Nous avons différencié cinq périodes d'évacuation, en fonction des ordres d'évacuation et de l'évolution des zones interdites déterminées par les autorités. Le travail des volcanologues a permis d'établir des prévisions et des alertes dans les temps pour assurer une gestion de crise globalement satisfaisante par les autorités locales. Pendant la période A, du 25 octobre au 2 novembre 2010, la zone interdite a été déterminée en utilisant la carte réglementaire des risques (KRB) et le plan d'urgence du Merapi conçu en 2009. Cependant, à partir du 3 novembre, suite à une forte augmentation de l'activité volcanique, les autorités locales n'ont plus utilisé la carte KRB en tant que carte de base pour programmer les évacuations. Les zones interdites ont ensuite été établies en

fonction de la distance depuis le sommet du Merapi. Le rayon de la zone interdite a été défini progressivement par le Dr. Surono, chef du CVGHM. Tous les changements de rayon de la zone interdite et ordres d'évacuation ont été effectués à l'heure. La planification d'évacuations selon des zones de rayon spécifique est assez fréquente face aux crises d'origine volcanique, par exemple au Popocatepetl au Mexique (Sedena, 2011) ou au Auckland Volcanic Field en Nouvelle-Zélande (Ferner, 2002). Grâce à leur représentation graphique simple, les plans d'évacuation par rayon permettent une compréhension beaucoup plus immédiate du zonage par les populations. Ils facilitent ainsi les prises de décision telles que le choix des routes d'évacuation, du lieu de refuge, etc. Cette planification par rayons implique la définition préalable de scénarii éruptifs précis prenant correctement en compte l'ensemble des aléas et leur intensité, ce qui n'était pas le cas dans le plan de contingence du Merapi de 2009, fondé sur un seul scénario de coulées pyroclastiques. En outre, il serait nécessaire de produire une carte détaillée des zones de danger, à l'échelle des *kecamatan* ou des communes, pour faciliter la compréhension du risque par les gestionnaires d'urgence, autorités locales et communautés. Cette cartographie n'existe pas pour l'heure.

L'évacuation est un processus complexe, comme illustré lors de la crise de 2010 du Merapi. Le succès ou l'échec d'une évacuation est souvent déterminé par le ratio de personnes sauvées et de victimes. Trente-cinq personnes ont été tuées au cours de la première explosion le 26 octobre en raison du refus d'évacuation, malgré l'ordre donné par les autorités locales. Dans la nuit du 4 au 5 novembre, environ deux cents personnes sont mortes à cause des coulées et déferlantes pyroclastiques. La plupart des victimes vivaient dans la zone située en dehors de la limite KRB III de la carte de risque de 2006, comme à Bronggang-Suruh, village situé 15 kilomètres du sommet, où il y a eu 49 morts. Le nombre élevé de décès a été causé par le manque de préparation des populations. Les 367 décès ont été relativement limités au regard des 10 000 à 20 000 personnes sauvées par les gouvernements locaux (Surono, et al., 2012). Selon les autorités locales et les volcanologues, l'élargissement progressif de la zone interdite (10 km, 15 km, et 20 km du sommet) pendant l'éruption a été correctement prévu et a été réalisé au bon moment (Surono, et al., 2012). Avec un nombre de victimes relativement faible par rapport à l'ampleur de la catastrophe, l'évacuation pendant la crise de 2010 du Merapi peut ainsi être qualifiée de « réussie ».

Dans le sous-chapitre 2, nous avons analysé les lacunes de la gestion des évacuations au Merapi. La transmission officielle de l'ordre d'évacuation est considérée comme trop longue par certains maires et chefs du village. La multiplication des intermédiaires a impliqué un temps assez conséquent : l'ordre d'évacuation a été transmis successivement du *bupati* au *camat*, puis

auxmaires, aux chefs de village, enfin aux villageois. Afin de résoudre ce problème, chaque village devrait disposer de moyens pour alerter et informer la population. Actuellement, le haut-parleur, la radio, le téléphone, le *kentongan* et le « porte-à-porte » sont les moyens les plus efficaces pour informer les populations au Merapi. Il serait bénéfique à l'avenir de développer un système d'appel en masse, comme le système « Antibia » utilisé en Midi-Pyrénées, qui alerte la population par appel téléphonique et SMS pour l'informer des aléas attendus (MPDDG, 2002). « Antibia » dispose pour cela d'une banque de données qui répertorie le numéro de téléphone de chaque personne résidant dans les zones à risque. Cela pourra être développé au Merapi étant donné que le téléphone portable est très répandu même dans la société rurale sur les flancs de Merapi. Cependant, au lieu d'utiliser un appel en masse, il faudrait plutôt utiliser un texto (SMS) en masse, beaucoup moins coûteux en Indonésie. Ce système d'alerte SMS a été mis en place depuis 2010 par quelques communautés dans les vallées de Gendol et Putih pour faire face aux lahars. Il n'est malheureusement pas encore étendu à l'ensemble des aléas volcaniques, et reste lié à des initiatives communautaires ponctuelles.

Pendant l'éruption du Merapi en 2010, les autorités locales, aidées des volcanologues et des médias (télévision et radio), ont déployé des efforts importants pour communiquer sur les changements d'activité volcanique et de zones interdites au public. La présence intensive à la télévision du Dr. Surono, a permis de pallier la « popularité » de Marijan. Le décès du gardien des clés lors de la première explosion du 26 octobre 2010 a fait réaliser aux populations que les croyances locales sont insuffisantes pour prendre des décisions afin de faire face aux crises d'origine volcanique. Nos questionnaires montrent que les habitants qui faisaient confiance à Marijan se sont alors mis à croire au discours des volcanologues.

Le rôle des communautés et des organisations locales lors de la période de crise a également été important. Elles ont pu fournir des aides et moyens logistiques pour les déplacés lors des premiers jours après l'explosion du 4-5 novembre, à un moment où les autorités locales étaient submergées par l'ampleur de l'éruption. Ce rôle important n'est pourtant pas expliqué dans le plan d'urgence à l'échelle des *kabupaten*. Selon le plan d'urgence, le rôle des communautés se limite à la fourniture de véhicules et de personnels d'évacuation.

Dans ce travail, nous avons également étudié la distribution des déplacés et la gestion des camps de déplacés. Malgré le succès global de l'évacuation des populations lors de la crise du Merapi en 2010, cette étude a permis d'identifier certaines difficultés liées à l'organisation du

déplacement des populations. Cette organisation a été opérante lors des premiers jours de déplacement (du 25 octobre au 3 novembre 2010), respectant le plan d'urgence de 2009. Lorsque l'activité volcanique a augmenté, l'élargissement de la zone interdite, et ainsi du nombre de personnes à déplacer, ont posé problème. Les autorités locales n'ont pu fournir dans les temps suffisamment de véhicules d'évacuation et de camps pour accueillir les déplacés. Le plan d'urgence de 2009 n'a pas permis de répondre à la crise du Merapi de 2010. L'éruption a en effet affecté des zones beaucoup plus vastes que ce qui était envisagé dans le scénario du plan. Bien qu'ils aient été préparés à faire face aux crises volcaniques, les déplacés se sont sentis frustrés et stressés en raison de l'ampleur de la catastrophe et de ses conséquences. La présence de camps de déplacés gérés par les populations locales et ou les familles a beaucoup aidé les déplacés qui ne pouvaient pas être logés dans les camps de déplacés officiels en raison du manque d'espace et du manque d'infrastructures sanitaires.

Nous avons effectué une analyse des réponses des populations aux évacuations qui montre que les réactions des populations face à l'éruption de 2010 sont de deux types, en fonction du degré de préparation initiale.

Les populations préparées à faire face aux crises étaient les habitants des villages situés dans les zones KRB III (risque élevé). Dans ces villages, plusieurs programmes de réduction des risques avaient déjà été organisés par les autorités locales ou les ONG. En raison de leur expérience des crises d'origine volcanique, la plupart des habitants situés dans la zone KRB III étaient conscients des conséquences des éruptions volcaniques. Par conséquent, lorsque l'ordre d'évacuation a été donné par les autorités locales, la majorité des habitants a évacué, même si beaucoup d'entre eux ont retardé leur décision d'évacuer jusqu'à ce que les premières coulées et déferlantes pyroclastiques se produisent. Dans la zone KRB III, la diffusion d'informations sur l'activité volcanique et de l'ordre d'évacuation était déjà bien organisée. Le maire de la commune, les chefs de village ainsi que les organisations locales, ont collaboré pour effectuer l'évacuation. Les populations avaient déjà été informées lors de séances de sensibilisation, de l'emplacement des points de ralliement, des camps de déplacés désignés pour chaque village, et des véhicules d'évacuation. En outre, des travaux collectifs ont été réalisés par le gouvernement local et les villageois pour améliorer l'état des routes afin d'avoir de faciliter l'évacuation.

Les habitants dans la zone KRB III qui étaient officiellement déjà préparés pour faire face aux crises d'origine volcanique n'ont cependant pas tous obéi à l'ordre d'évacuation donné par les autorités locales, tel Marijan et ses partisans. Le refus d'évacuer n'est pas un cas unique au Merapi.

Il a été décrit entre autres au Mont Saint-Helens (Etats-Unis) en 1980 (Tilling, et al., 1990), au volcan Puyehue (Chili) en 2011 (Physorg, 2011), au volcan San Christobal (Nicaragua) en 2012 (Aljazeera, 2012).

Dans les villages situés hors du zonage KRB III de 2006, les populations n'étaient pas préparées à faire face aux crises volcaniques. Au Merapi, le seul scénario utilisé pour le plan d'urgence ne considérait que le danger qui pourrait être engendré par les coulées et déferlantes pyroclastiques causées par l'effondrement du dôme. Plusieurs zones touchées par l'éruption de 2010 n'avaient pas encore été identifiées en tant que zones dangereuses. En effet, le zonage KRB du Merapi était fondé sur la connaissance des événements volcaniques des cents dernières années et n'incluait pas la probabilité d'une éruption plus grande. Ainsi, le village de Bronggang-Suruh n'était pas situé en zone KRB III avant l'éruption de 2010. En raison du manque de connaissance sur les aléas et les conséquences associées, et d'un manque de préparation aux évacuations, beaucoup de gens dans ce village ont été victimes des écoulements pyroclastiques du 4-5 novembre 2010. Des conduites inadaptées ont contribué au lourd bilan à Bronggang-Suruh : préparation en dernière minute des affaires à emporter, manque de temps pour informer et chercher d'autres membres de la famille, et mauvais choix de la route d'évacuation. Lors de l'évacuation du 4-5 novembre, les personnes vivant dans la nouvelle zone interdite (dans un rayon de 20 km depuis le sommet), ont été prises de panique, beaucoup d'entre elles ne sachant pas où évacuer. À l'inverse, une éruption de VEI 6 au Pinatubo en 1991 a montré qu'une bonne préparation aux évacuations pouvait minimiser le nombre de victimes (Punongbayan, 1995).

Au Merapi, l'évacuation est organisée par commune. Le maire, les chefs de village et les organisations locales mobilisent les villageois pour évacuer. Cette organisation communautaire est censée réduire la possibilité de laisser des gens dans le village. Toutefois, elle ne fonctionne pas toujours de manière optimale. Au cours de l'évacuation du 4-5 novembre, beaucoup de gens ont ainsi été séparés de leurs voisins ou leurs familles parce qu'ils ne savaient pas dans quel camp de déplacés se rendre.

Le manque de régularité de l'enregistrement des personnes déplacées dans chaque camp d'évacuation et les migrations de déplacés d'un camp à l'autre ont constitué une contrainte pour retrouver des personnes disparues et assurer la logistique. Ces migrations d'un camp à l'autre ont principalement été causées par le manque d'espace dans les camps et les aspirations des personnes déplacées à se réunir en famille ou entre voisins d'un même village. Ces organisations sociales de proximité constituent une ressource primordiale pour faire face aux situations de crise (Horn, 2009;



Westerveld-Sassen, 2005). Les déplacés issus d'un même village ont tendance à se regrouper autour du chef du village pour garder contact. Cela contribue à la cohésion des déplacés et aux liens émotionnels et sociaux indispensables en période de crise (Boothby, et al., 2006; Kostelny, 2006; Horn, 2009).

Notre étude montre qu'un problème majeur dans la gestion des évacuations au Merapi est le retour temporaire au village pendant la période éruptive, que les retours soient réalisés illégalement ou avec le support des autorités. Un tel comportement peut être très dangereux car l'éruption peut avoir lieu à tout moment. Ce fut aussi le cas lors de l'éruption du Kelud en 2007 (De Bélizal, et al., 2011) ou au Tungurahua en 1999 (Robin, et al., 2003).

Afin d'éviter de tels problèmes, la première solution proposée est d'éduquer une plus grande partie de la population à la préparation aux catastrophes volcaniques. Tous les habitants dans les zones à risques (KRB I, II, III voire dans le rayon de 20 km depuis le sommet) doivent avoir une bonne connaissance et compréhension des risques volcaniques, du système de gestion de crise, et de la nécessité d'évacuer dans certaines situations. Jusqu'à présent, certains villageois pensent que la catastrophe naturelle est un acte divin face auquel l'homme n'a pas prise. Cette perception est courante y compris dans les sociétés modernes plutôt sensibles aux explications scientifiques (Chester, 2005). Par conséquent, la croyance locale doit être soigneusement prise en compte pour optimiser l'efficacité de la gestion de crise (Chester, et al., 2008). L'organisation sociale préexistante et la nature des relations entre acteurs doivent également être pleinement intégrées dans la planification des crises. De Bélizal et al. (2011) ont ainsi montré que la nomination par les autorités d'un *juru kunci* « politique » au Kelud, non reconnu par les populations locales, avait conduit à un échec de la gestion de crise. Les autorités doivent donc se baser sur les croyances, connaissances, et attentes des communautés pour forger leur politique de gestion. Dans cette optique, Klaiman et al. (2010) mettent en évidence que les techniques participatives sont un moyen efficace de gagner la confiance de la population. Nous avons par ailleurs montré que le rôle théorique des institutions étatiques (BPBD, BPPTK, etc.) est en réalité supplanté par le maire et le chef de village disposant du pouvoir de décision sur le terrain. Dans ce contexte, l'efficacité de la gestion des crises repose largement sur la volonté du chef de village. Sa perception du risque et la confiance qu'il accorde aux autorités sont donc des facteurs déterminants à prendre en compte dans la gestion de crise.

La deuxième solution consisterait à favoriser les évacuations en proposant des solutions pour optimiser la surveillance des zones évacuées et l'accueil en zone sûre. Comme vu précédemment, la

peur de perdre leur bétail ou leurs biens pousse de nombreux habitants à rester ou retourner en zone interdite. Ils craignent souvent moins les aléas volcaniques que les vols susceptibles de se produire en leur absence. Les systèmes de surveillance communautaire, avec seulement quelques jeunes hommes qui se relaient pour effectuer des rondes dans le village, permettent de minimiser le nombre de personnes exposées à l'aléa. Il conviendrait de mettre en contact direct ces groupes de surveillance avec les volcanologues de façon à pouvoir leur fournir des alertes en temps réel en cas de menace. Ce système existe déjà le long de certaines vallées du Merapi pour l'évacuation des miniers qui travaillent dans les chenaux de lahars (De Bélizal, et al., 2013).

Le refus d'évacuer est également parfois lié au manque de confort et d'intimité dans les camps de déplacés. Ce problème pourrait être anticipé en créant des partenariats entre communautés situées dans et hors des zones de danger. Certains maires, dont celui de Ngargomulyo, ont manifesté depuis l'éruption de 2010 leur intérêt pour ce type de jumelage au sein d'un même *kecamatan* ou *kabupaten*. Il conviendrait d'officialiser ces procédures dans les plans de gestion de crise. On retrouve ce système de jumelage sur d'autres édifices volcaniques dans le monde, notamment au Vésuve, ou en Chine pour le risque sismique, depuis la catastrophe du Sichuan en 2008. Au Merapi, pour être efficace, il faudrait qu'un tel système prenne en compte le déplacement des populations mais également celui du bétail. Par ailleurs, il conviendrait de créer des activités éducatives et lucratives dans chaque camp de déplacés pour permettre aux évacués de ne pas trop s'ennuyer et de gagner de l'argent.

Les points forts de la gestion des évacuations, par exemple les liens communautaire, familial et social, doivent être maintenus pour faire face aux futures éruptions, et plus généralement à tous les types d'aléas. Les faiblesses doivent quant à elles être réduites, notamment en portant les efforts sur l'amélioration des capacités d'évacuation (véhicules, personnels) et l'entretien ou le développement des infrastructures (camps de déplacés, routes).

Ce chapitre est dédié à l'analyse des évacuations de populations lors de la dernière éruption du Merapi en restituant la chronologie de l'éruption, des déplacements et en s'intéressant aux facteurs importants qui doivent être pris en compte dans la gestion des évacuations. Plusieurs propositions pour améliorer cette gestion ont été présentées en discussion.

Une démarche pour améliorer la gestion des déplacements, l'éducation au risque et établir des plans d'évacuation crédibles, serait de modéliser les évacuations. Cela fait l'objet de notre sixième chapitre.



## C chapitre 6. Modélisations des évacuations

---

Avant de commencer notre analyse, il est nécessaire de rappeler que cette étude a débuté avant l'éruption de 2010. C'est pour cette raison que les analyses ont été fondées sur les plans d'urgence de 2009. D'autres analyses reposant sur l'éruption de 2010 ont été ajoutées afin de pouvoir comparer l'évacuation théorique attendue jusqu'en 2010 aux évacuations réelles observées lors de cette éruption. L'objectif de ce chapitre est de calculer le temps d'accès aux camps de déplacés en cas d'éruption du Merapi. Nous effectuons dans un premier temps des analyses d'accessibilité routière à échelle du volcan avant et après l'éruption de 2010. Nous réalisons ensuite le calcul des temps d'accès aux camps de déplacés à l'échelle communale en prenant le cas dans la commune de Ngargomulyo.

### 1. Apports de la modélisation dans l'étude de la gestion des évacuations

#### 1.1. Intérêts de la modélisation dans les approches prospectives

Le temps d'évacuation est un facteur fondamental de la planification d'urgence (Barendregt, et al., 2005). UNDRP (1992) définit ce temps d'évacuation comme l'intervalle entre le moment où un événement est détecté et requiert éventuellement l'évacuation, et la fin-même de l'évacuation. La durée de l'évacuation peut varier de quelques heures à quelques semaines ou à quelques mois selon l'ampleur de la catastrophe (Church, et al., 2002).

La gestion d'une évacuation inclut plusieurs phases majeures (Stepanov and Smith, 2009) : la détection de l'aléa ; la décision d'évacuation par les autorités si la menace est avérée ; la transmission de cette décision à l'ensemble des individus de la zone concernée (RT pour *receiving time of evacuation order*) ; le choix de ces individus d'évacuer ou non en fonction de leurs perceptions (EDT pour *evacuation decision time*) et le temps qu'il leur faut pour se préparer ; le temps nécessaire au déplacement vers des zones sûres (TT pour *travel time*) ; enfin la vérification de l'évacuation effective des zones menacées.

L'évacuation des populations dans des zones volcaniques n'est pas une tâche aisée, principalement lorsque ces zones sont densément peuplées (Marrero, et al., 2010). Le plan d'urgence utilisé au Vésuve implique par exemple l'évacuation de 600 000 personnes (Marzocchi, et al., 2007). Au Merapi en 2010, plus de 1 000 000 de personnes situées dans le rayon des 20 kilomètres depuis le sommet ont reçu l'ordre d'évacuation (cf. chapitre 5). Les principales questions posées dans l'étude des évacuations sont (Mei, et al., 2013):

1. Quand évacuer et quelle sera la durée totale d'évacuation ? (en fonction des analyses menées par les volcanologues et de la précision des décisions prises par les autorités).
2. Qui évacuer, où et comment ? (en fonction des capacités locales et régionales de gestion des situations d'urgence).
3. Combien de temps faudra-t-il pour évacuer ?

Une analyse des systèmes de transport, notamment par le biais de modèles d'évacuation, peut permettre de répondre à cette dernière interrogation. La modélisation peut s'avérer un outil intéressant pour calculer les temps de déplacement théoriques des personnes à évacuer. Au cours des dernières années, de nombreux outils ont été développés pour l'évaluation du risque et la gestion des crises volcaniques : des analyses probabilistes sur les futures éruptions, des cartes d'aléa et de risque, des arbres d'événement, etc. Cependant, les outils destinés à aider les autorités de protection civile à la préparation de plans d'urgence et de plans d'évacuation restent rares.

## **1.2. Méthodes et outils utilisés pour la modélisation des évacuations**

Depuis les années 1970, divers modèles d'évacuation ont été développés en prenant en compte des aléas d'origine naturelle ou anthropique. Marrero et al.(2010) différencient les modèles réalisés à différentes échelles géographiques selon qu'ils sont relatifs:

- à des phénomènes météorologiques comme les cyclones qui peuvent affecter de vastes surfaces (Mei, 2002; Huang, 2011; Chen, et al., 2006; Kindell, 2008; Chen, et al., 2008) ;
- à la présence d'installations sensibles, par exemple les centrales nucléaires, applicables seulement dans l'environnement immédiat des installations à échelle fine (Urbanik II, 2000) ;
- au déclenchement de feu dans des infrastructures en prenant principalement en compte les espaces intérieurs des bâtiments (Lu, et al., 2003).

Des applications qui peuvent aider à réaliser un plan d'évacuation efficace sont nécessaires. Huang et al. (2006) a montré que les outils de planification d'évacuation peuvent être classés en deux approches: des simulations et des méthodes analytiques (Figure 102).

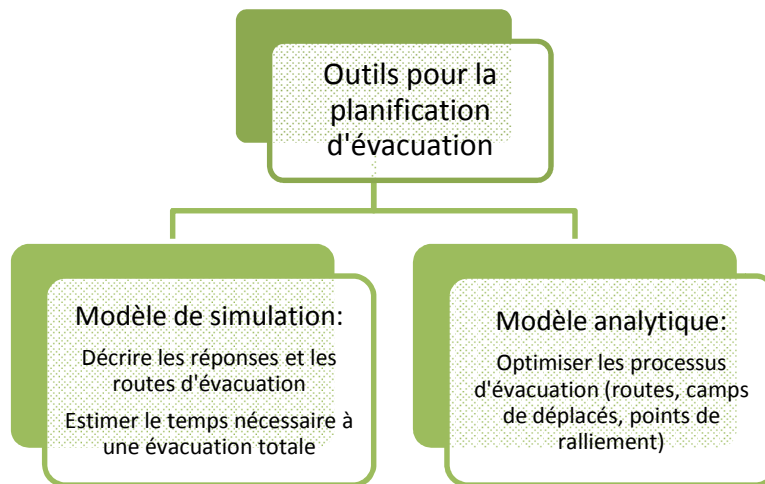


Figure 102. Approches employées dans les études sur la planification d'évacuation (Huang, et al., 2006)

Les deux approches utilisées pour étudier un système d'évacuation sont la modélisation ou la simulation et le Système d'Information Géographique (De Silva, et al., 2002). Pour la première, il s'agit de modéliser un système réel pour comprendre le comportement du système et/ou évaluer diverses stratégies de fonctionnement de ce système (Shannon, 1998). Le SIG permet de stocker les données et les informations spatiales et de fournir une cartographie sophistiquée. Plusieurs logiciels de SIG comportent des outils intégrés pour l'analyse de réseaux routiers, comme par exemple *Evacuation Route Tools ArcGIS toolbox* (Laghi, et al., 2007), *ArcGIS Network Analyst* (ESRI, 2006), ou *MapInfo RouteFinder* (RouteWare, 2010).

Dans ces logiciels, les routes d'évacuation correspondent à des réseaux spatio-temporels qui contiennent : un ensemble de points (*nodes*) avec des informations de localisation et des segments de ligne (*edges*) reliant les points. La caractéristique de ces réseaux est dynamique, ce qui permet, par exemple, de rendre certains segments de la route indisponibles lorsqu'ils sont en cours de réparation ou endommagés (Bustamante, et al., 2007). L'objectif de la planification des routes d'évacuation est de trouver des itinéraires optimaux, souvent traduits par le temps le plus court, pour évacuer les populations (Kim, et al., 2007). Pour définir la route d'évacuation la plus efficace, il faut considérer que le chemin le plus rapide n'est pas toujours le plus court. Par conséquent, le calcul de trajet entre deux points (origine et destination) ne tient pas seulement compte de la distance géométrique, mais également des coûts en temps, en énergie, etc. (Laghi, et al., 2007). Les



modèles de sélection d'itinéraire peuvent être appliqués pour estimer le déplacement des évacués sur un réseau de transport (Southworth, 1991). Ils sont un outil fondamental pour élaborer des plans sur le réseau routier en cas d'urgence. Le modèle de sélection de l'itinéraire permet d'obtenir une estimation de la durée de trajet et des chemins à emprunter.

## 2. Méthode et outil utilisés dans cette thèse

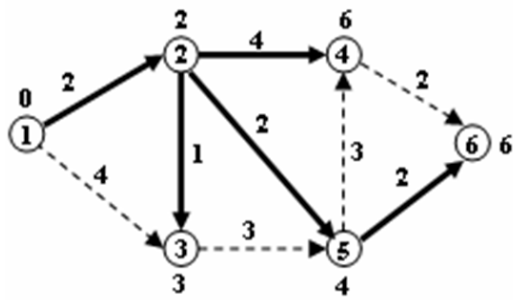
### 2.1. Le Logiciel *RouteFinder*, fondé sur la théorie des graphes

La théorie des graphes a été publiée pour la première fois par Leonhard Euler en 1736<sup>20</sup>. Cette théorie s'est alors développée dans divers types de modèles de relations et dans l'étude de la dynamique des processus physiques et sociaux, dans les systèmes d'information et tout particulièrement dans le domaine des transports.

En théorie des graphes, l'algorithme de Dijkstra sert à résoudre le problème du plus court chemin (Dijkstra, 1971). Il permet de déterminer le plus court chemin pour se rendre d'un endroit à un autre connaissant le réseau routier d'une région. L'algorithme décompose le réseau en nœuds (où les lignes se joignent, chaque nœud représentant à la fois un point de départ et de destination) et les chemins entre les nœuds sont représentés par des lignes. En outre, chaque ligne est associée à un *coût* qui représente la longueur pour relier deux nœuds consécutifs. Il y a de nombreux chemins possibles entre le point de départ et le point d'arrivée, chaque chemin dépendant des nœuds qui sont visités et de l'ordre dans lequel ils le sont (Figure 103).

---

<sup>20</sup> Problème des sept ponts de Königsberg (Euler, 1759). La ville de Königsberg est construite autour de deux îles situées sur le Pregel et reliées entre elles par un pont. Six autres ponts relient les rives de la rivière à l'une ou l'autre des deux îles. Le problème consiste à déterminer s'il existe ou non une promenade dans les rues de Königsberg permettant, à partir d'un point de départ au choix, de passer une et une seule fois par chaque pont, et de revenir à son point de départ, étant entendu qu'on ne peut traverser le Pregel qu'en passant sur les ponts.



Queue	Prochain node	Distance						Prédécesseurs						
		1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6		
1	2	-	2	4	∞	∞	∞							
1,2	3	-	-	3	6	4	∞		2	2	2			
1,2,3	4	-	-	-	6	4	∞							
1,2,3,5	5	-	-	-	6	-	6							5
1,2,3,5,4	6	-	-	-	-	-	6							
1,2,3,5,4,6	-	-	-	-	-	-	-							

Figure 103. Exemple d'utilisation de l'algorithme de Dijkstra pour calculer le chemin le moins coûteux (appelé Queue) passant par tous les nœuds du système. Le plus court chemin du nœud 1 vers les autres nœuds peut être trouvé en suivant les plus courts chemins précédents (flèches en gras), tandis que le coût des trajets est indiqué au-dessus de chaque nœud (Orlin, 2003)

L'extension *RouteFinder* sous le logiciel *MapInfo* utilise l'algorithme de Dijkstra (1971) et permet de réaliser :

- des calculs d'itinéraire en fonction de la distance (SHORTEST) ;
- des calculs d'itinéraires en fonction de la durée (FASTEST) ;
- des calculs des matrices d'accessibilité entre tous les lieux.

Elle permet aussi de représenter cartographiquement l'accessibilité soit par *isochrones* (polygones) soit par *isolinks* (RouteWare, 2010). Dans cette étude, cet outil a été utilisé pour faire des calculs d'accessibilité, son rôle principal étant d'obtenir le temps et la distance de parcours minimum entre les différents lieux choisis.

## 2.2. Collecte et production des données

Le logiciel *RouteFinder* nécessite l'acquisition de données sur les réseaux routiers, la répartition spatiale de la population, des camps de déplacés et des zones à risques. Les données de base pour faire la modélisation ont été préparées sous *ArcGIS* en format vectoriel: réseaux routiers, répartition de la population, répartition des camps de déplacés et des zones à risque.

### 2.2.1. Données sur les réseaux routiers

Les données de base sur les routes ont été obtenues à partir des cartes topographiques indonésiennes fournies par Bakosurtanal (RBI<sup>21</sup> 1408-223 ; RBI 1408-224 ; RBI 1408-241 ; RBI 1408-

<sup>21</sup> RBI = Rupa Bumi Indonesia (carte topographique indonésienne).

242 ; RBI 1408-243 ; RBI 1408-244 ; RBI 1408-313 ; RBI 1408-331 ; RBI 1408-333 ; RBI 1408-521 ; RBI 1408-522 ; RBI 1408-611). Les données sur l'état des routes ont été recueillies directement sur le terrain, et une typologie établie en fonction de leur état de dégradation et leurs matériaux constitutifs (Figure 104) (§cf. 1.2.2 p. 79). Nous n'avons pas utilisé le classement des routes de la base de données RBI de Bakosurtanal (par exemple routes nationales, provinciales, etc.) parce qu'elle était incomplète.

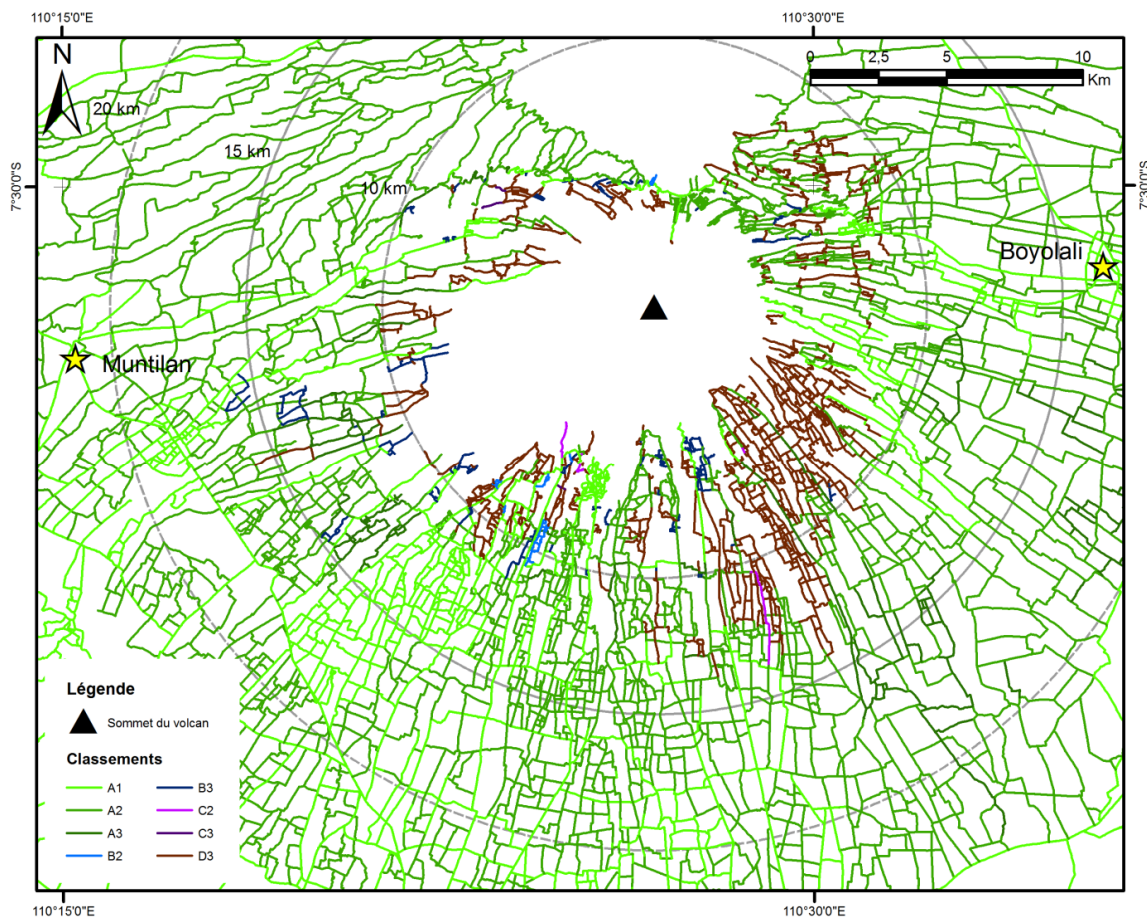


Figure 104. Carte et typologie du réseau routier en fonction de l'état des routes et du matériel dans lequel elles sont réalisées avant l'éruption de 2010.

Afin de pouvoir analyser l'accessibilité routière après l'éruption de 2010, nous avons mis à jour ces données d'état des routes. Les routes situées dans les zones dévastées par les PDCs ont ainsi pu être prises en compte dans l'analyse (Figure 105) (§cf. 1.2.2 p. 79).

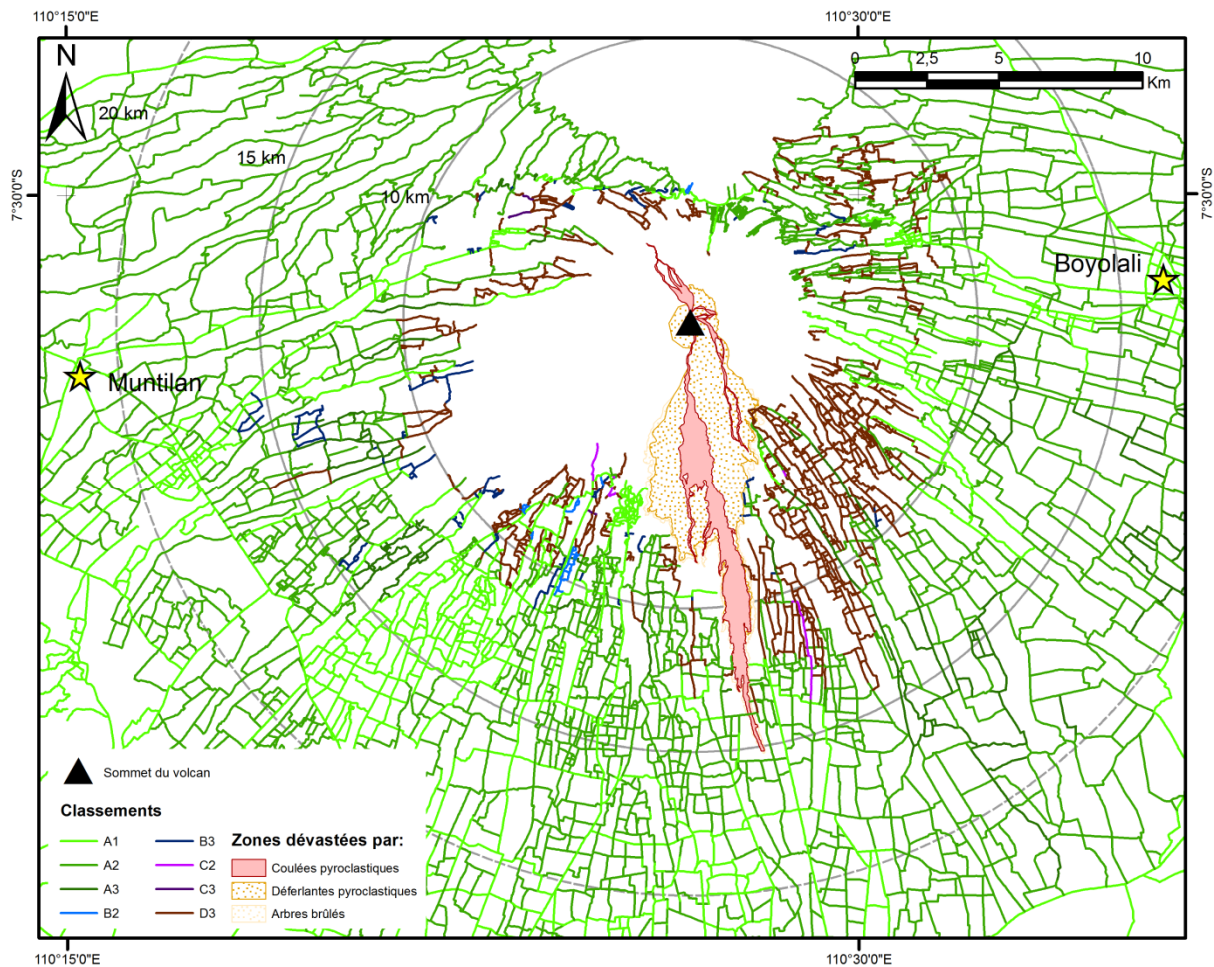


Figure 105. Carte et typologie du réseau routier en fonction de l'état des routes et du matériel dans lequel elles sont réalisées après l'éruption de 2010.

### 2.2.2. Vitesses utilisées

Avant de pouvoir utiliser *RouteFinder*, quelques paramétrages doivent être effectués. D'abord, il faut sélectionner la table contenant le réseau routier qui va être utilisé pour y ajouter trois colonnes. Ces nouveaux champs permettent d'intégrer des données de vitesse de circulation en associant à chaque tronçon une vitesse correspondante, fonction de la classe à laquelle appartient ce tronçon dans notre typologie du réseau routier. Nous avons en effet attribué une vitesse spécifique à chaque classe de la typologie.

Nous avons décidé d'utiliser deux gammes de vitesse différentes pour cette étude (Tableau 32 et Tableau 33). La première gamme (V1) est considérée comme une vitesse à l'état normal, sans aucune difficulté de transport. Celle-ci est inférieure à la vitesse légalement autorisée selon le Code

de la route (PP<sup>22</sup>n°43) en 1993, du fait du caractère sinueux du réseau routier et du cadre montagneux. La deuxième gamme (V2), plus faible que V1 (Figure 106), est utilisée en prenant en compte la diminution de vitesse de véhicules à cause de la congestion (Stepanov, et al., 2009; Smith, 2001) et/ou à cause de la pluie de cendres.

Tableau 32. Vitesses autorisées dans différentes régions selon le Code de la Route indonésien

Type de routes	Vitesse (km/h)		
	Plaine	Colline	Montagne
<i>Arteri</i> <sup>23</sup>	70-120	60-80	40-70
<i>Kolektor</i> <sup>24</sup>	60-90	50-60	30-50
<i>Lokal</i> <sup>25</sup>	40-70	30-50	20-30

Tableau 33. Vitesses utilisées dans cette étude

V1	Bonne	Modérée	Mauvaise
Route asphaltée	A1 = 60 km/h	A2 = 50 km/h	A3 = 40 km/h
Route cimentée	-	B2 = 30 km/h	B3 = 20 km/h
Route pavée	-	C2 = 30 km/h	C3 = 20 km/h
Chemin de terre	-	-	D3 = 20 km/h
V2	Bonne	Modérée	Mauvaise
Route asphaltée	A1 = 50 km/h	A2 = 40 km/h	A3 = 30 km/h
Route cimentée	-	B2 = 20 km/h	B3 = 10 km/h
Route pavée	-	C2 = 20 km/h	C3 = 10 km/h
Chemin de terre	-	-	D3 = 10 km/h

<sup>22</sup> PP: *PeraturanPemerintah (loi gouvernementale)*.

<sup>23</sup> *Arteri*: Routes nationales et provinciales

<sup>24</sup> *Kolektor*: Routes départementales (à l'échelle des *kabupaten*).

<sup>25</sup> *Lokal*: Routes à l'échelle des *kecamatan* ou *desa*.

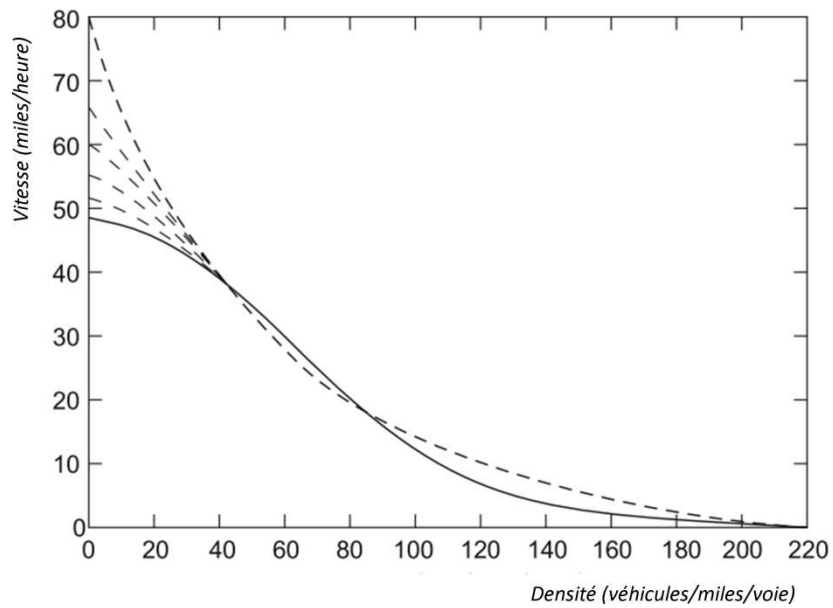


Figure 106. Courbe de vitesse en fonction de la densité de véhicules (Smith, 2001).

### 2.2.3. Répartition des habitants dans les zones urbanisées

Les données de population que nous avons utilisées dans cette étude sont les données de PODUS (à l'échelle des *dusun*) et PODES (à l'échelle des *desa*) de 2009-2010. Afin d'obtenir les données démographiques spatialisées dans les zones habitées par village, nous avons calculé le nombre d'habitants par polygone d'une superficie de 250 m<sup>2</sup>, après avoir extrait les zones construites sur la carte d'utilisation du sol de RBI (Figure 107).



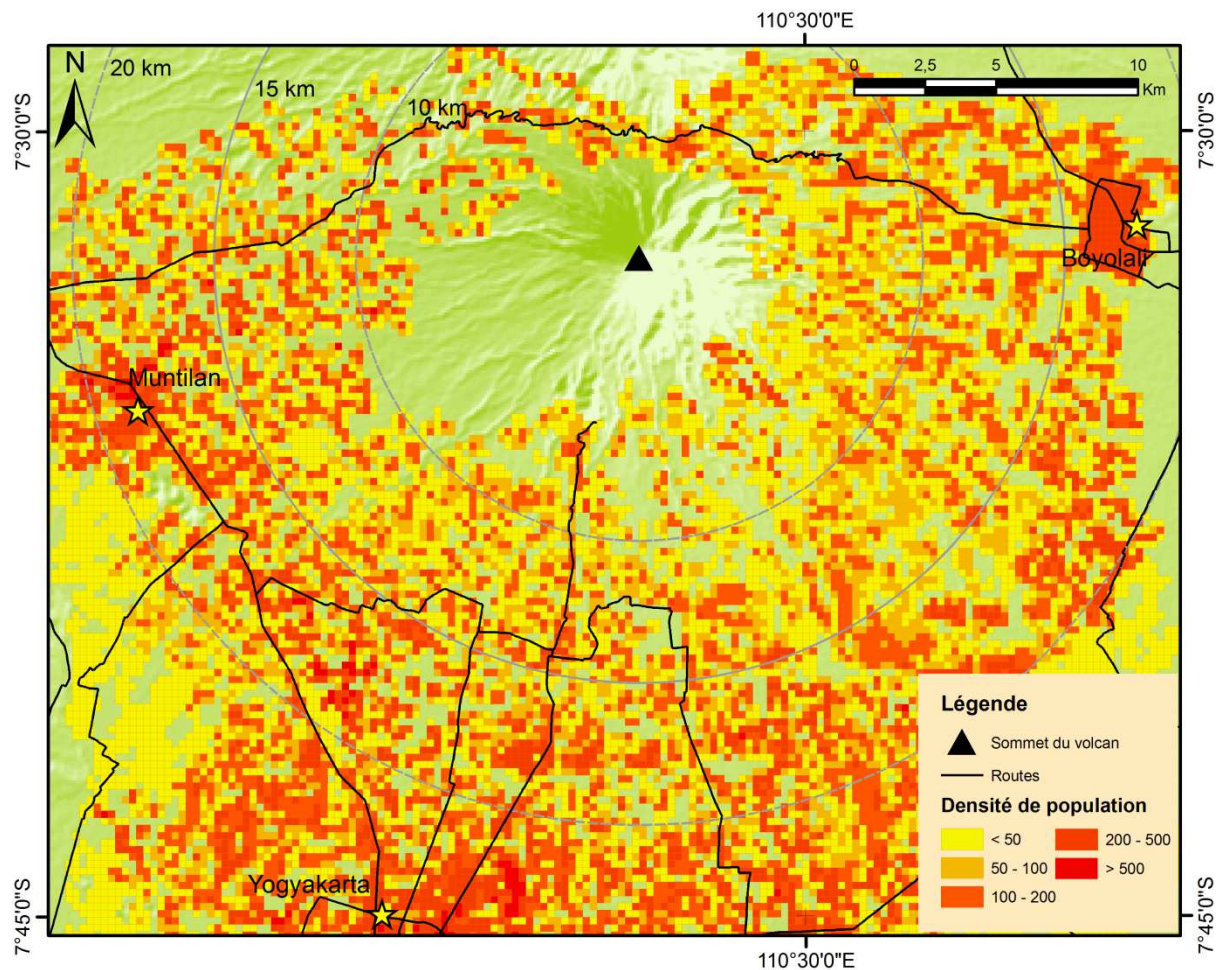


Figure 107. Nombre d'habitants par maille de 250 m<sup>2</sup> sur les flancs du Merapi.

## 2.3. Application des modèles à l'échelle du volcan

### 2.3.1. Accessibilité routière avant l'éruption de 2010

Nous avons d'abord calculé l'accessibilité routière optimale (sans fermetures de routes ou de ponts) en utilisant les données de l'état des routes avant l'éruption de 2010. Les lieux choisis pour lesquels nous avons calculé l'accessibilité sont les camps de déplacés officiels dans les quatre *kabupaten* où les moyens de secours étaient prévus avant 2010 selon les plans d'urgence de 2009 (Figure 48). Les calculs ont été faits dans deux situations : la première où la gamme V1 a été utilisée sur tous les tronçons, la deuxième avec V2.

Nous avons ensuite calculé l'accessibilité routière pour un état perturbé par la fermeture des tous les ponts franchissant les rivières majeures (Woro, Gendol, Kuning, Boyong, Krasak, Putih, Blongkeng et Senowo). Cette fermeture concerne la zone de rayon 15 kilomètres depuis le sommet, menacée par les coulées et déferlantes pyroclastiques.

Nous avons sélectionné un mode de calcul régi par le temps de trajet le plus court et un autre mode représentant un trajet *hors piste (off road)* (Figure 108.a). Dans ce cas, le logiciel établit un itinéraire « invisible » entre le lieu de départ se trouvant à « l'extérieur » du réseau, et le nœud le plus proche, en se basant sur une vitesse de 5 km/h sans forcément passer par une route. Nous avons choisi cinq classes de durée de trajet permettant d'obtenir les *isochrones* (0-5 minutes, 5-10 minutes, 10-15 minutes, 15-20 minutes et 20-25 minutes) (Figure 108.b). Le mode « *link drive time* » a ensuite été utilisé pour calculer les temps d'accès des zones de départ aux camps de déplacés (Figure 108.c).

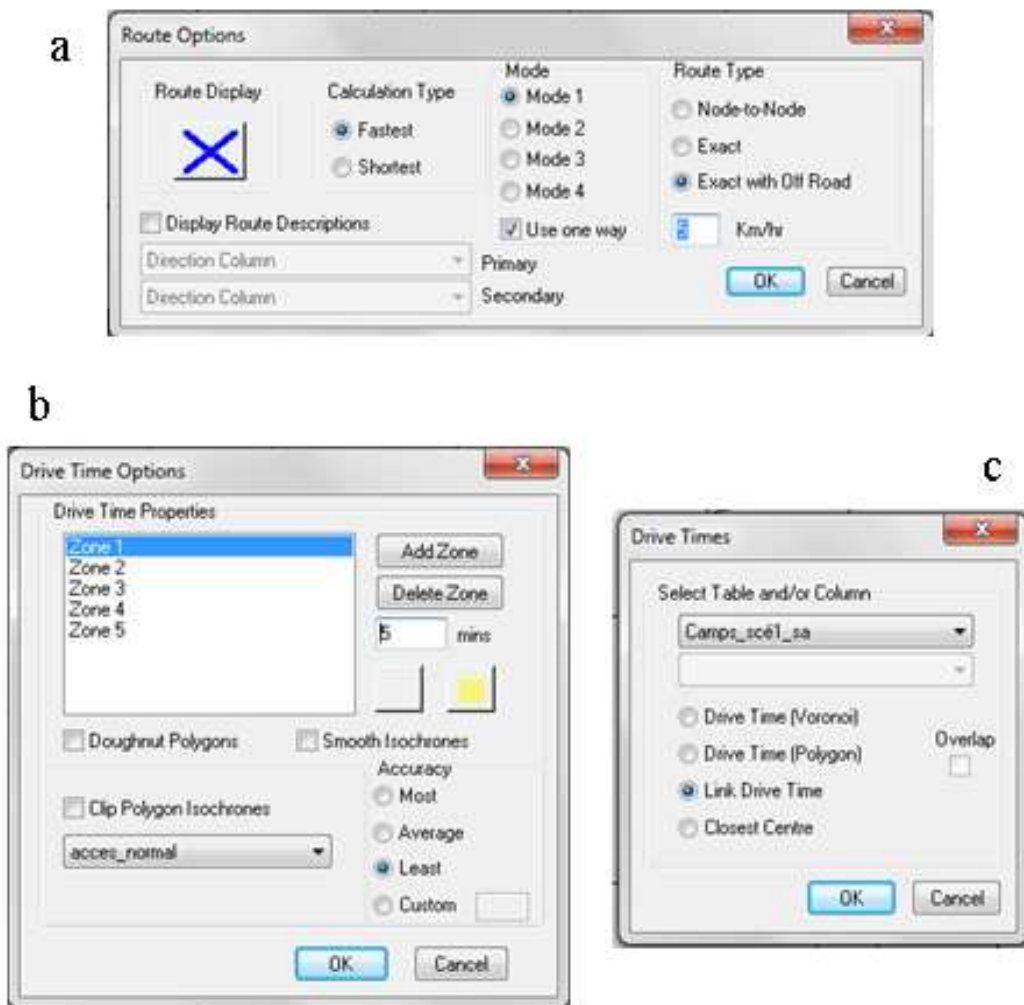


Figure 108. Paramétrage du RouteFinder: (a) sélection du mode de calcul, (b) choix de classes de trajets, (c) option « link drive time »

### 2.3.2. Accessibilité routière après l'éruption de 2010

Nous avons ensuite calculé l'accessibilité routière en utilisant les données d'état des routes après l'éruption de 2010. Dans cette analyse, nous avons choisi les camps de déplacés officiels<sup>26</sup> situés en dehors de la zone interdite observés lors de l'éruption de 2010 (en période D<sup>27</sup>) comme sites pour lesquels nous avons calculé l'accessibilité (Figure 73). Nous avons également considéré que les ponts des rivières majeures (Woro, Gendol, Kuning, Boyong, Krasak, Putih, Blongkeng et Senowo) situés dans un rayon de 15 kilomètres depuis le sommet sont fermés. La mise en parallèle des calculs « avant 2010 » et « après 2010 » doit permettre de comparer l'évacuation théorique attendue avant 2010 aux évacuations réelles observées lors de l'éruption.

### 2.4. Application des modèles à l'échelle communale

Les mailles des zones habitées de chaque village sont utilisées pour calculer le temps d'accès aux camps des déplacés. Nous n'avons pas utilisé la mairie comme point unique parce que, d'après nos retours d'expérience sur l'éruption de 2010, beaucoup de villageois ont évacué directement depuis leur habitation en prenant leurs propres véhicules.

Nous avons calculé le temps d'accès aux camps de déplacés pour deux scénarios d'évacuation basés sur deux vitesses différentes (Tableau 33) en utilisant l'option de la matrice de distance dans *RouteFinder* (Figure 109):

- (i) vers un camp de déplacés à Dukun (12 km depuis le sommet du volcan), retenu pour accueillir les évacués de la commune de Ngargomulyo selon le plan d'urgence de 2009 ;
- (ii) vers un camp de déplacés à Muntilan (18 km depuis le sommet du volcan), qui a accueilli les habitants de Ngargomulyo après l'éruption majeure du 4-5 novembre 2010.

---

<sup>26</sup> Nous avons seulement utilisé les camps officiels pour nos scénarios malgré leur manque de capacité d'accueil. Les camps communautaires et familiaux ne sont pas pris en considération car ils ne sont pas nécessairement pérennes d'une éruption à l'autre, ce qui empêche de les prendre en compte dans notre démarche prospective.

<sup>27</sup> Période D : rayon de 20 km depuis le sommet pour la zone située entre les vallées Boyong et Gendol ; 15 km pour le *kabupaten* de Magelang ; 10 km pour le *kabupaten* de Klaten ; et 10 km pour le *kabupaten* de Boyolali.

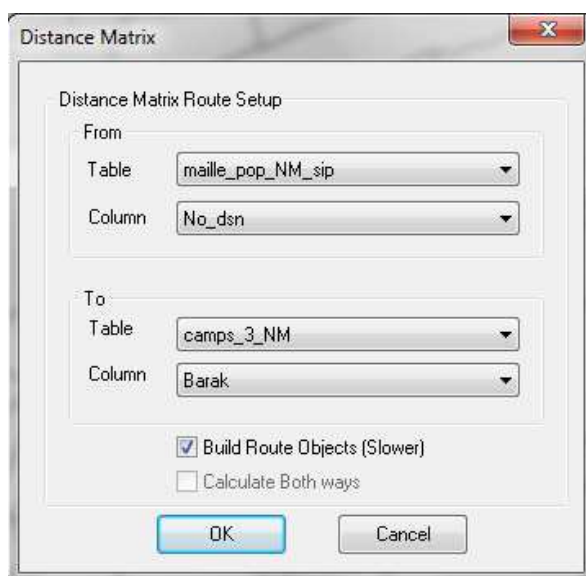


Figure 109. Calcul de temps d'accès aux camps de déplacés sur RouteFinder en utilisant la matrice de distance

### 3. Résultats des modélisations

#### 3.1. Analyses à l'échelle du volcan

##### 3.1.1. Temps d'accès aux camps de déplacés avant l'éruption de 2010

Sur les cartes de type *isolinks* (Figure 110), le temps d'accès aux camps de déplacés est visible sur les tronçons routiers. La visualisation des temps d'accès nous permet d'obtenir une vision globale du temps minimum nécessaire pour se rendre aux camps de déplacés les plus proches depuis les villages et pour déployer les secours des camps de déplacés jusqu'aux villages.

Analysons d'abord les deux cartes d'accès à « l'état normal » pour les vitesses V1 et V2 (Figure 110.a et b). Sur les deux cartes, la zone la moins rapidement desservie est située à l'est du volcan en raison de l'absence de camps de déplacés. Sur la première carte (Figure 110.a), la plupart des villages en zone KRB III ont un accès aux camps de déplacés les plus proches en 5-10 minutes avec la vitesse V1. Sur la deuxième carte (Figure 110.b), l'accès aux camps de déplacés les plus proches depuis la zone KRB III s'élève à 10 minutes avec la vitesse V2. Certains villages situés à l'est du volcan ont des temps d'accès aux camps bien plus importants, de plus de 25 minutes pour certains (Figure 110.b).

Étudions ensuite les deux cartes d'accès à l'état perturbé par la fermeture de ponts situés dans un rayon de moins de 15 kilomètres depuis le sommet du volcan (Figure 110.c et Figure 110.d). On constate que cette perturbation ne modifie pas beaucoup le temps d'accès aux camps de

déplacés, toujours inférieur à 25 minutes, car ces derniers sont suffisamment proches des villages pour être atteints sans franchissement de rivière.



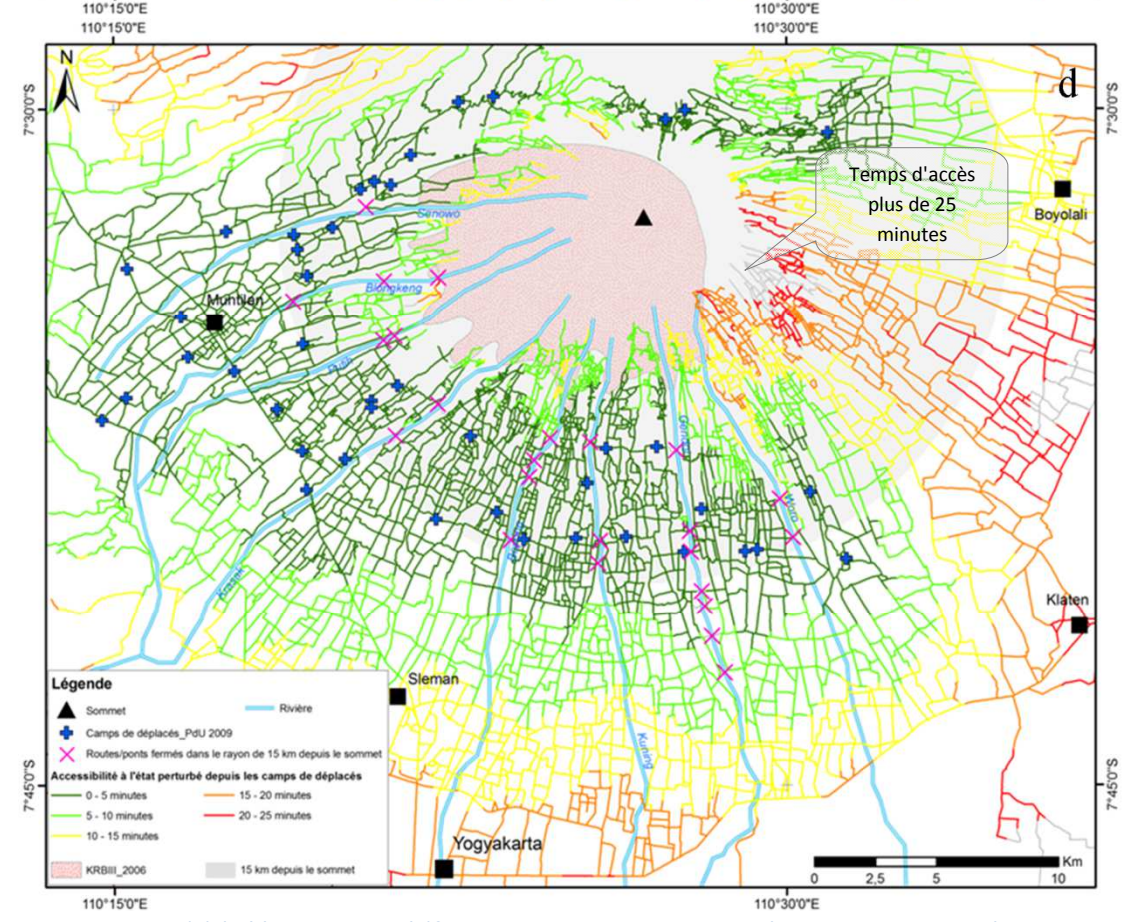
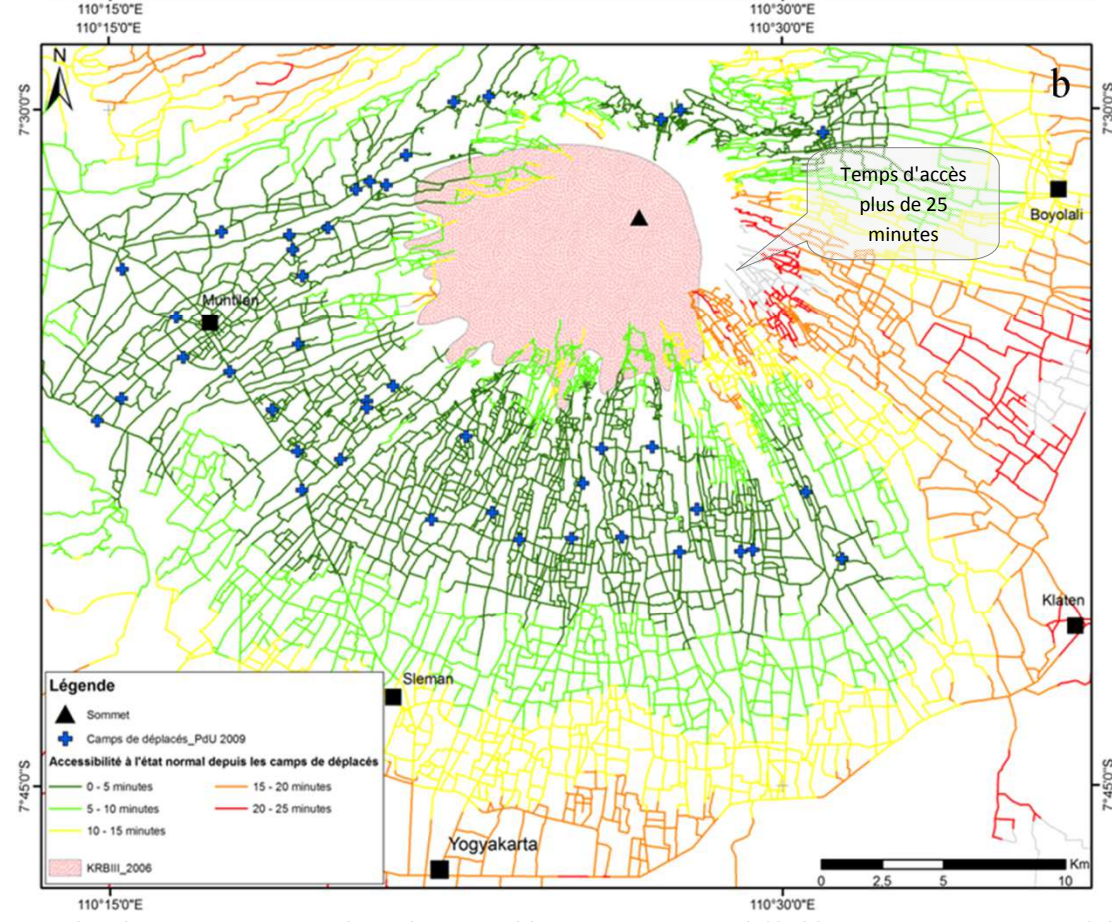
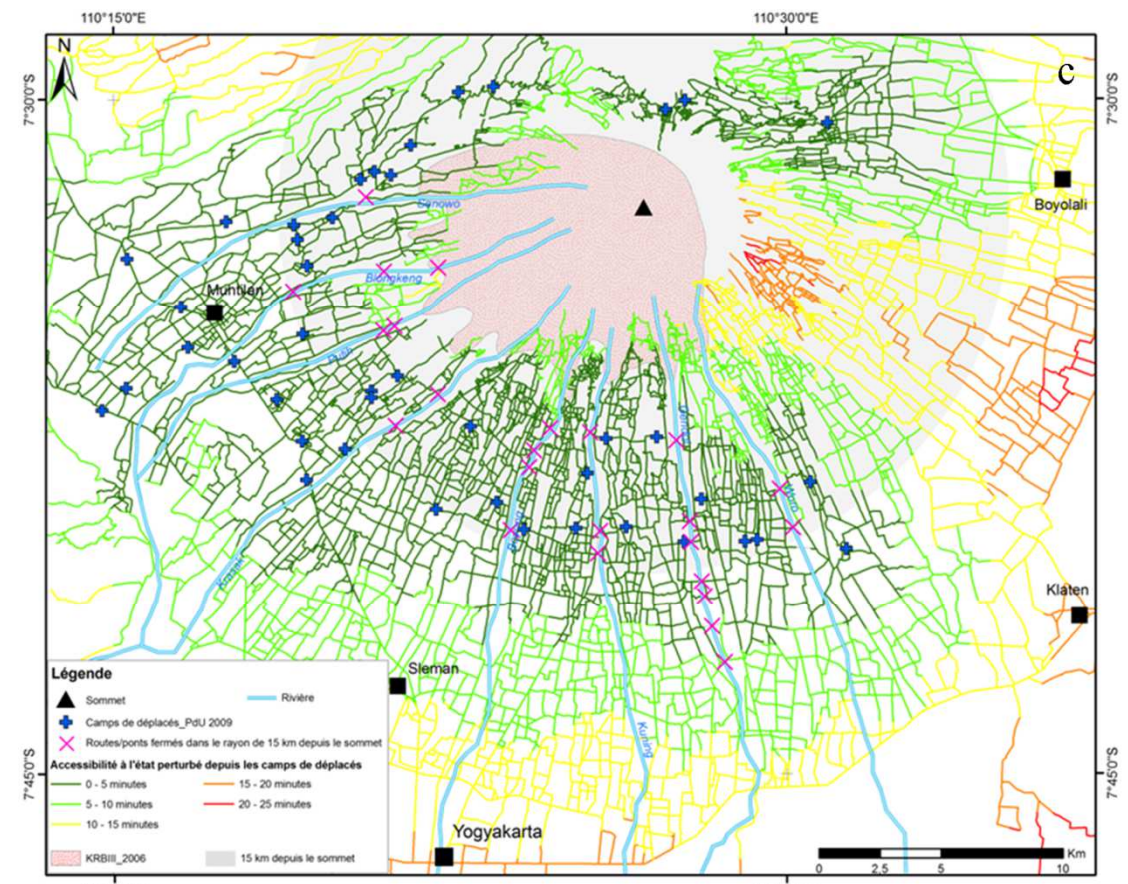
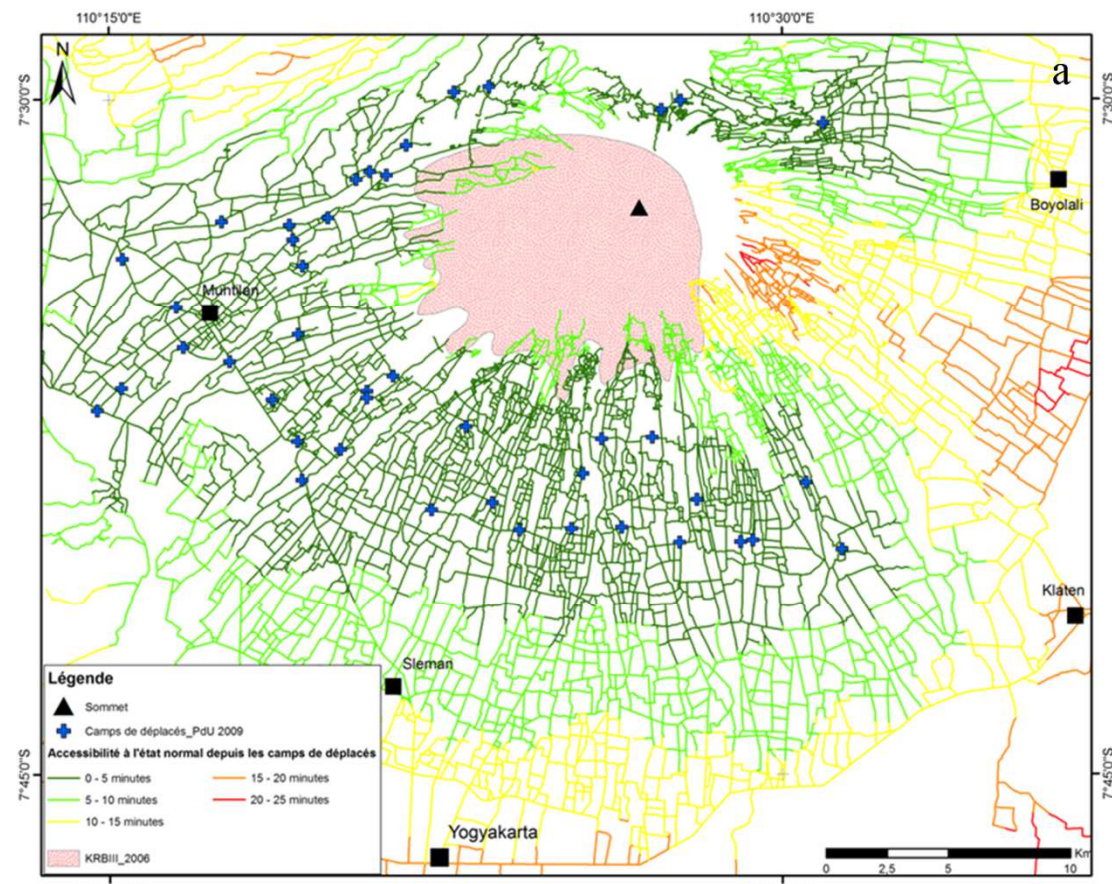


Figure 110. Temps d'accès aux camps de déplacés avant l'éruption de 2010: (a) à l'état normal vitesse V1, (b) à l'état normal vitesse V2, (c) à l'état perturbé (fermeture des ponts des rivières majeures situés dans la zone des 15 km depuis le sommet) vitesse V1, et (d) à l'état perturbé vitesse V2





### 3.1.2. Temps d'accès aux camps de déplacés après l'éruption de 2010

Nous avons ajouté une analyse des temps d'accès aux camps de déplacés à l'échelle du volcan après l'éruption de 2010 afin de comparer l'évacuation théorique jusqu'en 2010 et l'évacuation lors de l'éruption de 2010. Nous avons calculé le temps d'accès aux camps officiels situés en dehors de la zone interdite en période D (Figure 70). Nous avons choisi d'utiliser cette période d'évacuation en tenant compte que :

1. L'ordre d'évacuation du rayon de 20 kilomètres depuis le sommet a été donné sans liste de villages à évacuer et sans explication précise des secteurs concernés.
2. Il n'y avait pas assez d'infrastructures pour accueillir les évacués en dehors de cette zone pour les *kabupaten* de Magelang et Boyolali, dont les villes principales sont situées à une distance de 18 kilomètres depuis le sommet du volcan.
3. La zone de la période D a été précisément définie en prenant en compte de la probabilité d'aléa (coulées et déferlantes pyroclastiques) sur les rivières principales au Merapi.

Sur les réseaux routiers, nous avons considéré que les ponts des rivières principales ne peuvent être franchis.

Les deux cartes d'accès aux camps de déplacés ont montré que les secteurs sud et nord du volcan sont moins accessibles que les autres. Sur la première carte (Figure 111.a), la plupart des villages dans la zone KRB III ont un accès aux camps de déplacés les plus proches en seulement 10-15 minutes. Sur la deuxième carte, qui correspond à une situation dégradée des routes (Figure 111.b), l'accès aux camps de déplacés les plus proches depuis la zone KRB III s'élève à 25 minutes.

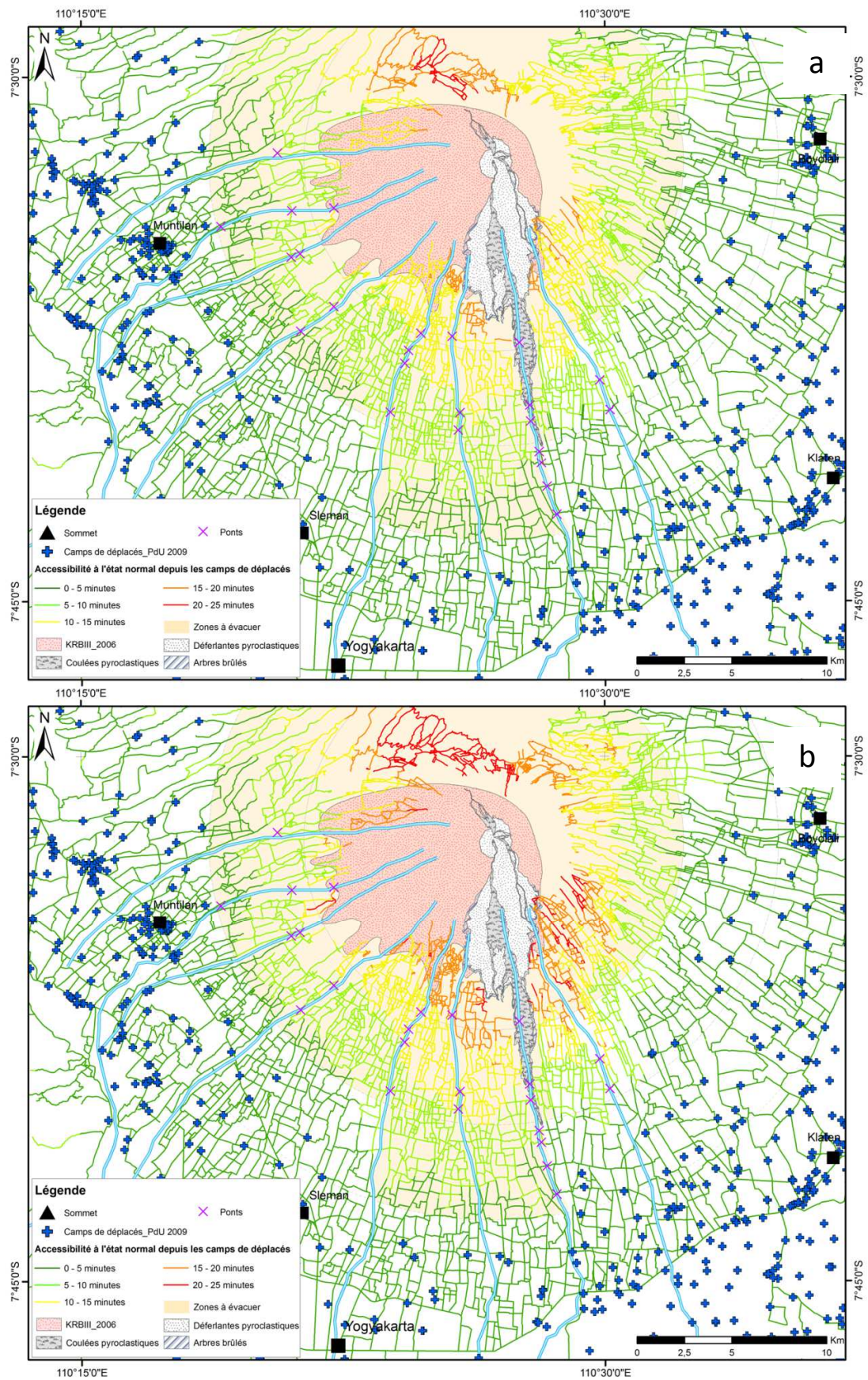


Figure 111. Temps d'accès aux camps de déplacés après l'éruption de 2010: (a) vitesse V1, (b) V2

## 3.2. Analyses à l'échelle communale

### 3.2.1. Le temps d'accès aux camps de déplacés

Nous avons effectué respectivement deux modélisations pour calculer le temps minimum nécessaire au trajet depuis les villages de Ngargomulyo vers les camps de déplacés de Dukun et de Muntilan.

Le premier modèle est fondé sur le scénario du plan d'urgence de 2009, dans lequel le camp de déplacés de Dukun est prévu pour accueillir les habitants de Ngargomulyo pendant une éruption du Merapi. Selon les résultats du modèle, il y a des différences de 8 à 10 minutes entre les temps de trajet des villages le plus proche et le plus éloigné du camp de déplacés (1,8 kilomètres de différence de distance) (Figure 112 et Tableau 34).

Le deuxième modèle est fondé sur un scénario avec un camp de déplacés à Muntilan. C'est ce camp qui fut effectivement utilisé par les villageois de Ngargomulyo après l'explosion majeure du 4-5 novembre 2010. Les calculs indiquent également des différences de 8-10 minutes de temps de trajet entre les villages le plus proche et le plus éloigné du camp de déplacés (1 kilomètre de différence de distance) (Figure 113 et Tableau 35).



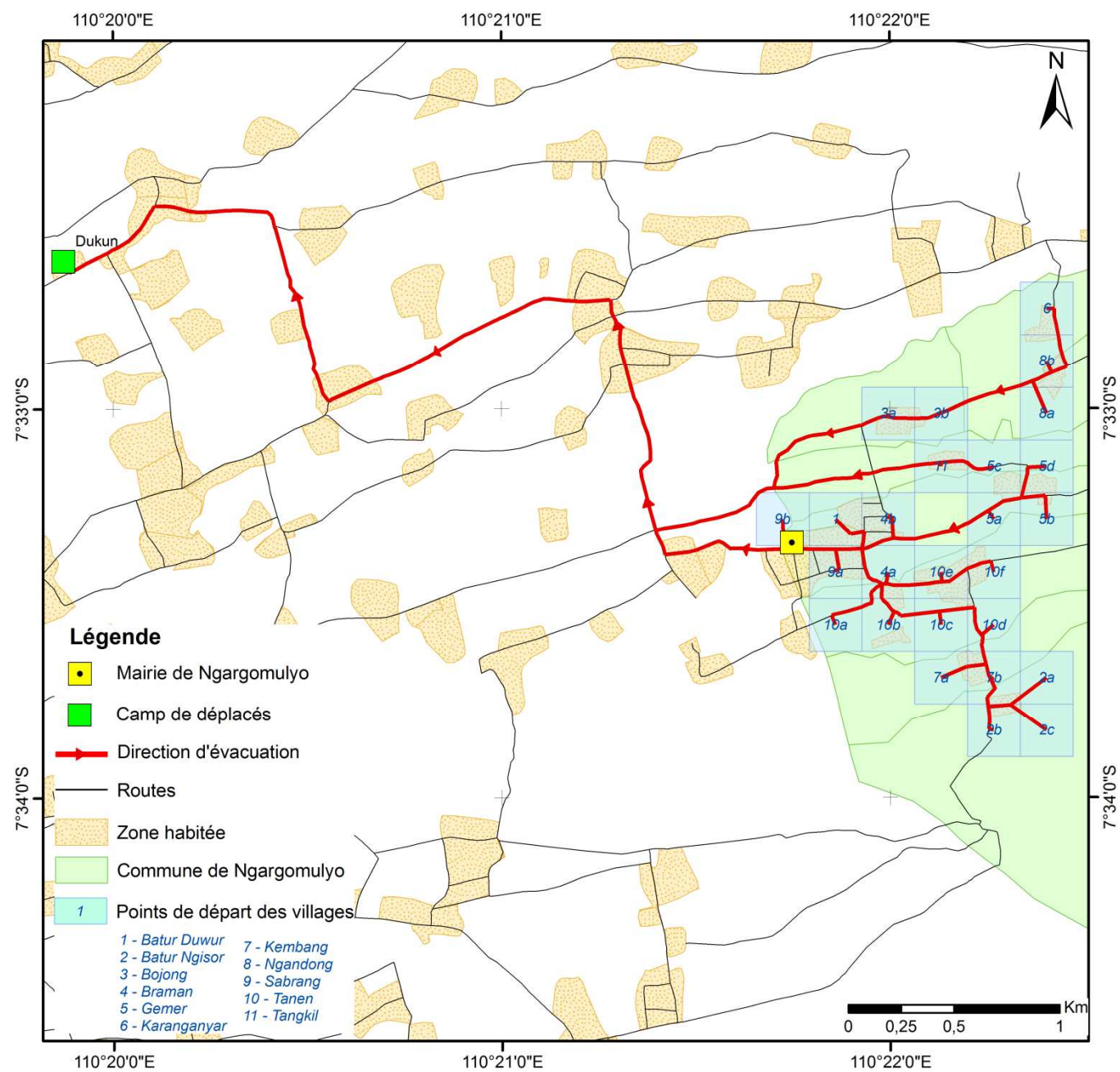


Figure 112. Itinéraire d'évacuation de la commune de Ngargomulyo vers le camp de déplacés de Dukun

Tableau 34. Calculs des temps d'accès depuis chaque village de la commune de Ngargomulyo au camp de déplacés de Dukun en utilisant deux vitesses différentes

FromID	Code	ToID	Temps V1 (min)	Temps V2 (min)	Distance (km)
BaturDuhur	1	Camp Dukun	9	11	6,0
BaturNgisor	2b	Camp Dukun	12	17	7,2
BaturNgisor	2c	Camp Dukun	14	20	7,4
BaturNgisor	2a	Camp Dukun	14	20	7,4
Bojong	3a	Camp Dukun	8	10	6,0
Bojong	3b	Camp Dukun	8	10	6,3
Braman	4a	Camp Dukun	9	11	6,1
Braman	4b	Camp Dukun	8	10	6,1
Gemer	5a	Camp Dukun	8	10	6,5
Gemer	5b	Camp Dukun	10	12	6,8
Gemer	5c	Camp Dukun	8	10	6,4
Gemer	5d	Camp Dukun	9	11	6,8
Karanganyar	6	Camp Dukun	10	12	7,2
Kembang	7a	Camp Dukun	12	17	7,0
Kembang	7b	Camp Dukun	11	16	6,9
Ngandong	8a	Camp Dukun	11	13	6,9
Ngandong	8b	Camp Dukun	9	11	6,9
Sabrang	9a	Camp Dukun	8	9	5,8
Sabrang	9b	Camp Dukun	9	10	5,6
Tanen	10a	Camp Dukun	9	13	6,1
Tanen	10b	Camp Dukun	9	12	6,2
Tanen	10c	Camp Dukun	10	13	6,4
Tanen	10d	Camp Dukun	11	15	6,8
Tanen	10e	Camp Dukun	9	12	6,3
Tanen	10f	Camp Dukun	10	14	6,6
Tangkil	11	Camp Dukun	8	10	6,1





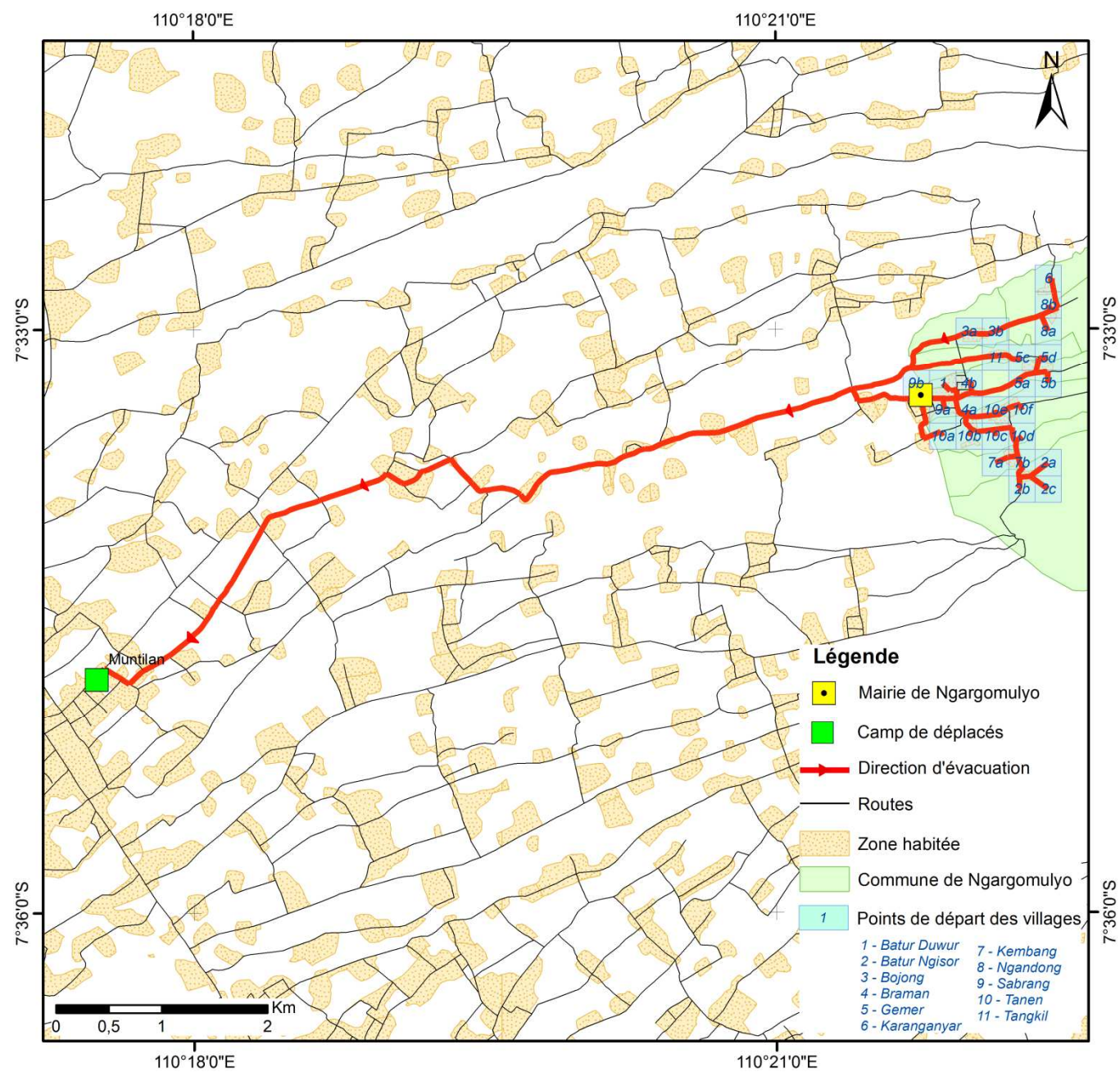


Figure 113. Itinéraire d'évacuation de la commune de Ngargomulyo vers le camp de déplacés de Muntilan

Tableau 35. Calculs des temps d'accès depuis chaque village de la commune de Ngargomulyo au camp de déplacés de Muntilan en utilisant deux vitesses différentes

FromID	Code	ToID	Temps V1 (min)	Temps V2 (min)	Distance (km)
BaturDhuwur	1	Camp Muntilan	12	14	10
BaturNgisor	2a	Camp Muntilan	17	23	11
BaturNgisor	2b	Camp Muntilan	14	20	11
BaturNgisor	2c	Camp Muntilan	17	23	11
Bojong	3a	Camp Muntilan	11	13	10
Bojong	3b	Camp Muntilan	11	13	10
Braman	4a	Camp Muntilan	11	14	10
Braman	4b	Camp Muntilan	11	13	10
Gemer	5a	Camp Muntilan	11	13	10
Gemer	5b	Camp Muntilan	13	15	11
Gemer	5c	Camp Muntilan	11	13	10
Gemer	5d	Camp Muntilan	12	14	11
Karanganyar	6	Camp Muntilan	13	15	11
Kembang	7a	Camp Muntilan	15	20	11
Kembang	7b	Camp Muntilan	14	19	11
Ngandong	8a	Camp Muntilan	13	16	11
Ngandong	8b	Camp Muntilan	12	15	11
Sabrang	9a	Camp Muntilan	10	13	10
Sabrang	9b	Camp Muntilan	11	13	10
Tanen	10a	Camp Muntilan	12	16	10
Tanen	10b	Camp Muntilan	12	15	10
Tanen	10c	Camp Muntilan	13	16	10
Tanen	10d	Camp Muntilan	14	18	11
Tanen	10e	Camp Muntilan	12	16	10
Tanen	10f	Camp Muntilan	13	17	11
Tangkil	11	Camp Muntilan	11	13	10



### 3.2.2. De la modélisation au terrain : différences entre routes les plus rapides et routes les plus choisies

Nous avons effectué une étude plus précise à l'échelle de la commune en intégrant les résultats de l'enquête Qd réalisée à partir de la maquette (cf. Chap. 3). Nous avons remarqué que la plupart des routes empruntées dans la modélisation par *RouteFinder* correspondent à celles choisies par les habitants de Ngargomulyo lors de l'évacuation de 2010.

Pourtant, certaines différences de trajets ont été soulignées dans les villages de Tanen, Kembang, et BaturNgisor. Les habitants des trois villages ont choisi la route connectant la maille 10D et la maille 10F (Figure 114.a), privilégiant cette route asphaltée et en plutôt bon état aux routes en terre des mailles 10C, 10B, 4A (Figure 114.b).



Figure 114. Routes dans la commune de Ngargomulyo: (a) route asphaltée connectant la maille de route connectant la maille 10 D et la maille 10 F, (b) route en terre connectant la maille D et les mailles 10C, 10B, 4A (Photos : Mei, 2011)







## 4. Discussion et conclusion

La méthodologie utilisée dans ce chapitre est fondée sur un outil de simulation graphique connecté à un Système d'Information Géographique.

Au niveau du volcan, les résultats montrent que la perturbation due à la fermeture de certains ponts a peu affecté le temps d'accès aux camps de déplacés. Cependant, un ralentissement de 10 km/h dans les déplacements a augmenté le temps d'accès aux camps d'environ 5-10 minutes pour certains villages situés en zone KRB III. En cas d'évacuation, le réseau routier autour du Merapi peut être fortement saturé en raison de la densité population (plus de 1,3 millions d'habitants situés dans le rayon de 20 kilomètres depuis le sommet). La saturation pourrait avoir lieu notamment sur les routes principales (provinciales et/ou *kabupaten*). Cette saturation n'a malheureusement pas pu être incluse dans l'analyse en raison d'un manque de données.

Les analyses fondées sur les scénarios avant et après l'éruption de 2010 ont montré que le changement de rayon de la zone interdite a nécessité au moins 10 à 15 minutes de plus pour que les évacués de la zone KRB III puissent se rendre aux camps de déplacés les plus proches. Ces analyses permettent d'avoir une vision globale du temps minimal nécessaire pour évacuer les populations aux camps de déplacés et/ou déployer les ressources vitales (ambulances, véhicules d'évacuation) dans les villages concernés.

Une analyse à plus grande échelle a été menée afin de pouvoir identifier le temps minimum nécessaire pour un trajet vers les camps de déplacés, connaître les itinéraires choisis par les habitants, et indiquer les voies d'évacuation et les voies d'accès pour les secours.

À partir des résultats des modèles à l'échelle locale, nous pouvons donc améliorer le plan d'évacuation pour chaque village dans la commune de Ngargomulyo en prenant en considération le fait que les villages situés plus loin du camp, par exemple Kembang et BaturNgisor, doivent être les premiers à informer les populations à se préparer en cas d'évacuation planifiée.

L'étude sur les routes choisies par les habitants est importante afin d'améliorer l'état des routes dans la commune. Les routes empruntées lors de l'évacuation de 2010 n'étaient pas toujours les plus rapides pour se rendre en lieu sûr (dans les camps de déplacés). Les villageois ont plutôt opté pour les routes asphaltées faciles d'accès. Un aménagement du réseau routier serait souhaitable dans le futur, par exemple en élargissant et asphaltant les routes les plus rapides pour se rendre aux camps de déplacés. L'emplacement de fléchages de voies d'évacuation pourrait être



fondé sur le couplage entre les résultats d'itinéraires du modèle et d'itinéraires choisis par les habitants. Une concertation sur l'emplacement des fléchages auprès des habitants est nécessaire afin d'aboutir à un consensus local respecté par les villageois ainsi que par le gouvernement. Cette démarche participative est considérée comme l'une des mesures les plus efficaces dans la gestion de la réduction des risques (Gaillard, et al., 2007; Gaillard, et al., 2009). A Ngargomulyo, cette approche dite communautaire pourrait être réalisée avec l'aide de plusieurs associations locales et/ou ONGs qui travaillent sur la gestion du risque, par exemple Santri Siaga Bencana ou OXFAM.

Dans la perspective d'un approfondissement du sujet, il est important de souligner les limites de la prise en considération du calcul des temps d'accès aux camps de déplacés dans cette étude:

1. A l'échelle du volcan et à l'échelle locale :
  - la non-prise en compte des possibilités de perturbations de la circulation telles que des saturations de réseaux, des accidents routiers, des pluies de cendres, des obstacles sur la chaussée, etc. Une telle analyse pourrait être menée à partir d'une modélisation multi-agents (SMA) ;
  - le facteur topographique, qui joue un rôle majeur dans la vitesse des véhicules, n'est pas inclus dans les vitesses utilisées.
2. A l'échelle du volcan :
  - le calcul n'a pas pris en compte le camp de déplacés prévu pour chaque commune. Le temps d'accès est fondé sur un calcul de l'accès au camp de déplacés le plus proche. Au Merapi, un camp de déplacés peut accueillir les habitants issus de la même commune et/ou de plusieurs communes du même *kecamatan* (§cf 1.2.2 p. 123).
3. A l'échelle locale :
  - Les points de départ d'évacuation sont les centres des mailles de 250 m<sup>2</sup> de chaque village. Nous n'avons pas utilisé les points de ralliement parce que beaucoup de villageois ont évacué directement depuis leur habitation en utilisant leurs propres véhicules. Nous pourrions créer des mailles de résolution beaucoup plus fine afin d'obtenir des résultats plus pertinents.

Enfin, plusieurs scénarios pourraient être effectués à l'avenir intégrant de nouveaux paramètres issus des études de l'aléa, des zones interdites, des camps de déplacés et des facteurs de perturbation.





## Conclusion générale

La thématique des évacuations lors des crises volcaniques est encore peu abordée en tant que sujet distinct dans le domaine de la géographie des risques. Par une approche spatiale multiscalaire accompagnée d'une analyse chronologique, cette thèse a proposé de prendre en compte les temporalités multiples et continues afin de comprendre le processus d'évacuation dans un espace géographique d'un pays en développement.

Depuis ces 80 dernières années, un très grand nombre d'éruptions s'est produit en Indonésie. Toutefois, le nombre de victimes reste très limité, ce qui s'explique par une gestion des crises volcaniques efficace. Cette thèse a eu pour objectifs de souligner les points forts de la gestion des crises volcaniques au Merapi, mais également les faiblesses de celle-ci afin de proposer des solutions pour améliorer l'efficacité des évacuations futures.

### ➤ Synthèse et apports de la thèse en recherche fondamentale

Le premier chapitre présente la nécessité de la recherche en termes de gestion des évacuations lors des crises volcaniques. A ce jour, il y a peu d'études détaillées sur les évacuations, même si cette thématique est un sujet fondamental pour plusieurs raisons: (1) le rôle important des évacuations pour protéger la population contre les aléas, en particulier les PDCs ; (2) les conditions socio-économiques et socioculturelles de la population qui posent souvent des problèmes dans la gestion de l'évacuation ; et(3) la difficulté de prévision de l'activité éruptive liée à la complexité du volcan.

Dans le deuxième chapitre, nous avons justifié le choix du Merapi comme terrain d'étude. Ce volcan s'avère très adapté pour une recherche sur les évacuations parce que : (1) la densité de population y est très élevée, entre 935 et 1901 habitants par km<sup>2</sup> (BPS, 2008), d'où l'enjeu majeur de la gestion de crise ; (2) les populations du Merapi sont très attachées à la terre et des facteurs socioculturels entravent souvent le bon déroulement de l'évacuation ; (3) les éruptions du volcan se produisent très fréquemment, tous les 4 ans en moyenne. Commencée en 2009, cette recherche a pu profiter de l'éruption de 2010, qui fut la plus forte du Merapi depuis 1872. Cet événement fut le ciment d'une étude détaillée pour comprendre et analyser la gestion des évacuations des populations lors d'une éruption de forte magnitude.

Cette opportunité nous a permis de mettre en place une méthode originale qui est présentée dans le troisième chapitre. Nous avons pu suivre la chronologie de la crise (avant, pendant et après) à deux échelles différentes et avons obtenu des données de première main concernant les évacuations lors de la crise. À l'échelle du volcan, notre questionnaire pré-éruptif « PODUS » nous a fourni une base de données solide et pertinente afin d'analyser les facteurs de vulnérabilité des populations et les capacités pour faire face aux crises volcaniques. Les données de l'état des routes nous ont permis d'appliquer des modélisations d'évacuation. Notre questionnaire post-éruptif « Surdadu » et les enquêtes auprès des évacués nous ont apporté la possibilité d'analyser en profondeur le processus d'évacuation et les conséquences de l'éruption. Plusieurs entretiens, pré- et post-éruption, ont en outre été organisés avec les personnes clés de la gestion des crises dans les quatre *kabupaten* concernés. À l'échelle locale, nous avons effectué une dizaine de discussions de groupe dans la commune de Ngargomulyo et les villages de Turgo et Bronggang-Suruh avant et après l'éruption de 2010. Un questionnaire auprès des habitants sur les connaissances collectives, stratégies d'adaptations, et expériences de la crise a été organisé dans le village de Turgo. Une maquette participative trois dimensions (P3DM) à Ngargomulyo nous a enfin permis d'obtenir un retour d'expérience et d'effectuer une enquête sur les routes d'évacuation choisies lors de la crise de 2010.

Le chapitre 4 présente les facteurs de vulnérabilité des populations et les capacités de gestion de crise à l'aube de l'éruption de 2010. Il montre que la préparation aux crises volcaniques a été relativement bien organisée. Nous avons vu au cours de ce chapitre que cette préparation diffère selon la zone envisagée (KRB III, II ou I, et en dehors des zones KRB). Les autorités et populations de la zone KRB III sont globalement bien préparées à faire face à une future crise volcanique. Dans les zones de KRB II et I, la préparation est principalement liée au risque de lahars : systèmes d'alerte précoce, SABO-dam et sensibilisation des populations. En revanche, les communautés ne sont pas bien informées sur les autres aléas tels que les PDCs ou émanations de gaz. Dans le secteur situé en dehors des zones KRB, il y a très peu voire pas d'informations sur les aléas volcaniques et risques associés aux éruptions du Merapi. Nous avons pu identifier deux points importants à améliorer à la veille de l'éruption de 2010. En premier lieu, les plans d'urgences devraient être révisés en intégrant plusieurs scénarios fondés sur les analyses des scientifiques sur les risques volcaniques. Cela nécessite, en deuxième lieu, la volonté politique du gouvernement pour s'engager dans une culture de réduction de risque. Ces faiblesses ont été ensuite mises en évidence lors de l'éruption de 2010.

Le chapitre 5, qui décortique la gestion de crise de 2010, montre que l'évacuation lors des crises volcaniques est primordiale afin de sauver des populations en cas de coulées et déferlantes

pyroclastiques. Pendant cette éruption majeure, l'évacuation s'est bien passée pendant les premiers jours, même si certains aspects n'étaient pas en conformité avec le scénario du plan d'urgence de 2009. Du point de vue du nombre de vies sauvées, cette évacuation peut être considérée comme un succès. Sans alerte précoce ni évacuation des populations, le nombre de victimes aurait pu atteindre jusqu'à 20 000 personnes (Surono, et al., 2012). Malgré le succès global de cette évacuation, cette étude a permis d'identifier certaines difficultés liées à l'organisation du déplacement des populations, par exemple l'insuffisance du nombre de véhicules d'évacuation, et à l'organisation de camps de déplacés, par exemple le manque de camps pour accueillir les évacués. Notre étude a montré que la gestion des évacuations doit intégrer non seulement les actions nécessaires pour déplacer les habitants d'une zone menacée vers un endroit plus sûr, mais également la façon d'assurer leur subsistance pendant la période de crise. Nous avons mis en évidence qu'un problème majeur dans la gestion des évacuations au Merapi est le retour temporaire au village pendant la période éruptive, que celui-ci soit réalisé illégalement ou avec le support des autorités. Ce retour est lié aux besoins quotidiens, par exemple prendre une douche en raison du manque de moyens sanitaires dans les camps, et aux besoins économiques, comme traire et nourrir les vaches laitières ou prémunir le village contre les vols.

L'utilisation de la méthode des cercles concentriques depuis le sommet du volcan est courante dans la gestion des crises volcaniques, comme dans le cas de l'éruption de Pinatubo en 1991 (Newhall, et al., 1995). L'utilisation de cette méthode a permis de minimiser le nombre de victimes lors de l'éruption du Merapi en 2010 (Surono, et al., 2012). Cependant, plusieurs lacunes ont pu être mises en évidence :

- Une sous-estimation des zones à évacuer. Les zones à évacuer (rayon de 20 km depuis le sommet) furent beaucoup plus grandes que les zones touchées par les coulées et déferlantes pyroclastiques<sup>28</sup> lors du siècle dernier.
- Cette sous-estimation du nombre d'habitants à évacuer a impliqué une plus grande demande de véhicules pour évacuer. De plus, les camps de déplacés dans le rayon de plus de 20 km depuis le sommet n'étaient pas préparés pour héberger les déplacés.

Afin de pallier ces lacunes, il est souhaitable qu'une carte d'aléas plus détaillée soit établie. Elle permettrait aux gestionnaires d'urgence de l'utiliser comme carte de base pour réaliser un nouveau plan d'urgence incluant les processus d'évacuation. Les zones situées le long des rivières majeures

---

<sup>28</sup> Il n'y avait malheureusement pas de liste des villages à évacuer quand l'ordre d'évacuation pour un rayon de 20 km du sommet a été donné. Cet ordre a impliqué plus d'un million d'habitants autour de Merapi tandis que le nombre d'évacués 'enregistrés' a seulement atteint 400 000 personnes.



doivent être considérées en priorité dans la gestion des évacuations. En prenant l'exemple du village de Bronggang-Suruh, si les habitants dans les zones de KRB III, II et I de 2006 avaient été préparés pour faire face au risque de coulées et de déferlantes pyroclastiques, le nombre de victimes de l'éruption de 2010 aurait été réduit. L'itinéraire des évacuations doit être choisi soigneusement pour minimiser le nombre de victimes : il faut absolument s'éloigner de la rivière et éviter de la traverser.

La localisation des SABO-dam devrait être indiquée dans le plan d'évacuation en raison du fait que ces ouvrages semblent avoir été à l'origine du changement de direction de PDCs, provoquant leur débordement dans des zones inattendues. Déjà identifié lors de l'éruption de 2006 à Kaliadem (Thouret, et al., 2010; Charbonnier, et al., 2008), ce risque a été confirmé pendant celle de 2010 dans la même vallée (Komorowski, et al., 2013). Par conséquent, les villages situés près des SABO-dam doivent être particulièrement pris en compte dans les actions de réduction du risque volcanique (système d'alerte, éducation aux risques, préparation aux évacuations, gestion communautaire de la crise volcanique, etc.).

Dans le dernier chapitre, nous avons souligné l'importance du temps d'accès aux camps de déplacés et de la durée d'évacuation. La notion du temps n'a malheureusement pas été incluse dans les plans d'urgence de 2009. A l'avenir, il serait intéressant que les résultats de nos modélisation de temps d'accès aux camps de déplacés soient pris en compte par les gestionnaires d'évacuation à l'échelle du volcan (*kabupaten*) et à l'échelle locale (*desaou dusun*). Une vision globale sur le temps envisagé pour effectuer une évacuation est en effet indispensable afin d'améliorer les plans d'urgence. A l'avenir, nous pourrions améliorer ces modèles et chercher à comprendre les paramètres de saturation des réseaux en faisant varier les paramètres d'entrée : valeurs de vitesses, type de véhicules utilisés, points de ralliement, etc. Nous devons mentionner que les analyses effectuées dans ce chapitre ne constituent qu'une étude globale. Nous avons envisagé lors des premiers mois de la thèse de faire plusieurs modélisations plus approfondies à l'échelle locale ainsi qu'à celle du volcan, mais l'éruption de 2010 ayant eu lieu à la fin de la première année de thèse, nous a dû renoncer à cet objectif initial.

➤ Limites de la thèse

*Le nombre de personnes déplacées ne prend en compte que les évacués « enregistrés officiellement »*

Dans notre étude, le nombre de personnes « évacuées » ne prend en compte que le nombre de personnes « évacuées et enregistrées » dans les camps de déplacés. Le record, qui atteint 381 696 déplacés le 13 novembre 2010, ne reflète que les déplacés qui ont été enregistrés par les autorités

dans les camps officiels, communautaires et familiaux. Il ne prend pas en compte les habitants qui se sont réfugiés dans d'autres provinces et/ou d'autres îles. Il faut noter qu'il y avait au moins un million d'habitants situés dans la zone du rayon de 20 kilomètres depuis le sommet du volcan. Nous n'avons malheureusement pas pu d'obtenir les données complètes sur le nombre exact de personnes évacuées lors de la crise de 2010. En outre la liste des villages qui ont été évacués n'est pas exhaustive, car nous n'avons pas eu accès à toutes les données dans le rayon de 20 km depuis le sommet.

#### Limitation des données spatiales

La modélisation peut encore gagner en précision par le biais de l'acquisition de données spatiales plus fines. Malgré quatre mois de travail pour obtenir les données sur la qualité des routes autour du Merapi, nous n'avons pu collecter que les données détaillées de routes situées dans un rayon maximum de 10 km depuis le sommet au nord du volcan et de 20 km au sud.

#### Limitation des modélisations des évacuations

Les modélisations utilisées dans cette étude ne concernent que d'accessibilité routière et les calculs de temps de déplacements. Nous n'avons donc pas pris de paramètres importants à l'échelle micro, par exemple les variations topographiques à très grande échelle, les caractéristiques physiques des évacués ou encore les différents moyens de transport utilisés.

#### ➤ Vers une amélioration de la gestion des évacuations de populations

Notre analyse a montré que la gestion des évacuations au Merapi doit envisager des actions supplémentaires avant, pendant et après la crise (Figure 117.a).

Les actions à mener avant la crise consisteraient en l'élaboration d'un plan d'évacuation détaillé et en une communication efficace à toutes les communautés potentiellement affectées par les menaces volcaniques. Il est souhaitable que les plans d'évacuation prennent en compte les cinq points importants du processus d'évacuation « *qui, quand, où, comment et combien de temps* » (Figure 117.b). Ensuite, une amélioration des infrastructures (routes et camps de déplacés) et une préparation de la logistique (nourriture, eau, approvisionnement d'urgence) doivent être menées. En Indonésie, ces efforts doivent être faits par le DinHub en collaboration respectivement avec le Dinas PU/Kimpraswilet le DinSos.

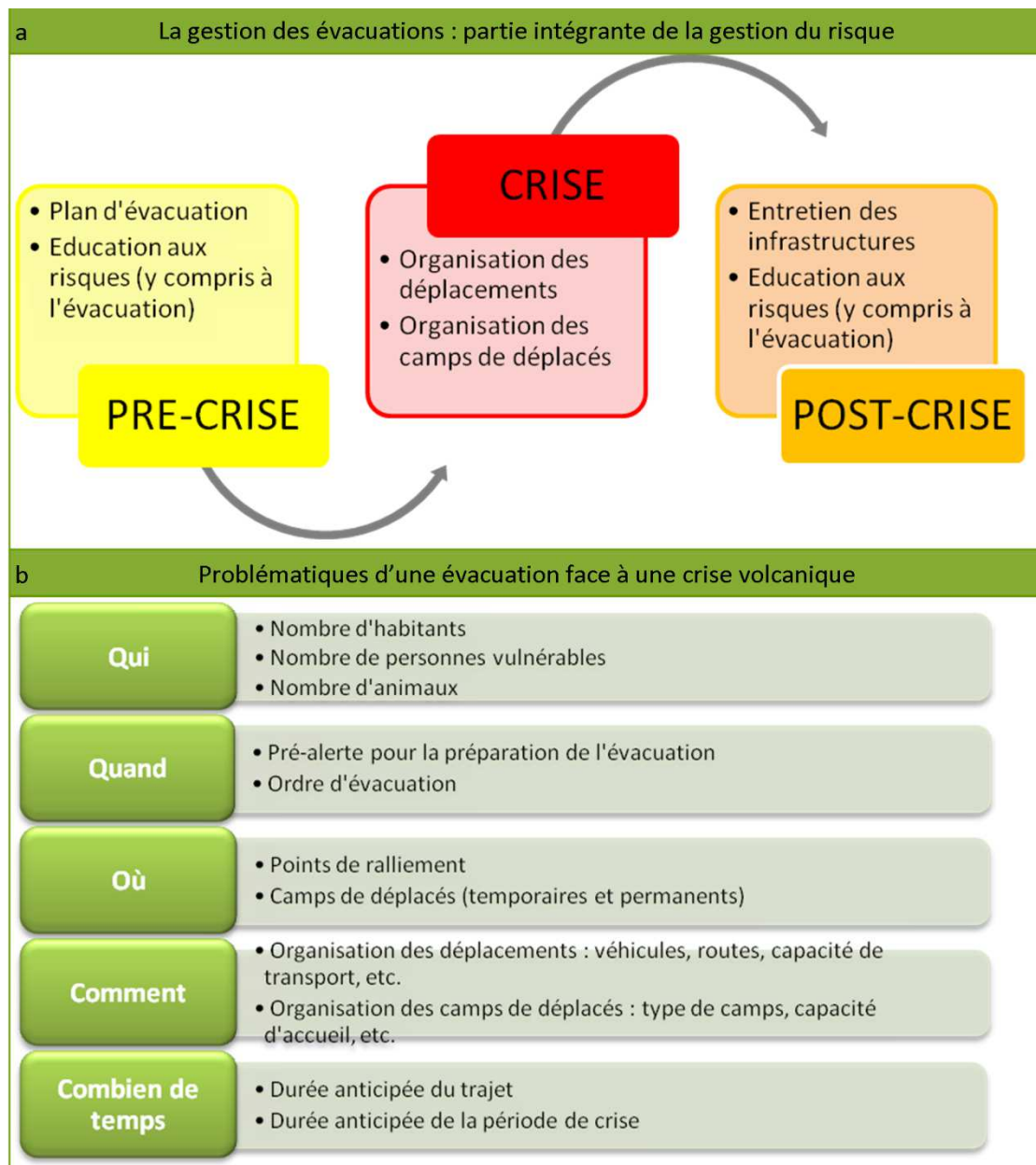


Figure 117. Les éléments principaux dans la gestion des évacuations lors des crises volcaniques au Merapi

Pendant la crise, l'organisation des déplacements et l'organisation au sein des camps de déplacés doivent être assurées. En Indonésie, ces actions ne peuvent être réalisées grâce à une collaboration étroite (Figure 118) entre : 1) le BPBD en tant que coordinateur de gestion de crise, 2) le CVGHM/BPPTK qui donne les recommandations d'ordre d'évacuation, 3) l'Armée, la Police et le DinHub qui assurent le transport officiel, 4) le DinSos, le Dinas PU/Kimpraswil et le DinKes qui fournissent les camps de déplacés et la logistique, 5) les ONGs et les bénévoles qui facilitent le processus d'évacuation et l'organisation des personnes déplacées dans les camps, et le plus

important, 6) la commune et le village, dont le rôle est primordial puis qu'au Merapi, les évacuations sont organisées à ce niveau administratif. Ce système d'organisation à l'échelle locale facilite l'enregistrement des personnes déplacées, la définition des besoins en transport local et leur mobilisation, l'organisation efficace de la logistique dans les camps et les retrouvailles des membres de la famille et/ou des villages séparés lors d'une évacuation.

Notre analyse a indiqué que l'ennui dans les camps de déplacés et le désir de retourner au travail dès que possible pour gagner de l'argent pour la famille étaient les problèmes psychologiques principaux rencontrés par les personnes déplacées. Par conséquent, il conviendrait de créer des activités éducatives et lucratives dans chaque camp pour permettre aux évacués de ne pas trop s'ennuyer et de gagner de l'argent. Cela pourrait également éviter les allers-retours aux villages lors de la période de crise.

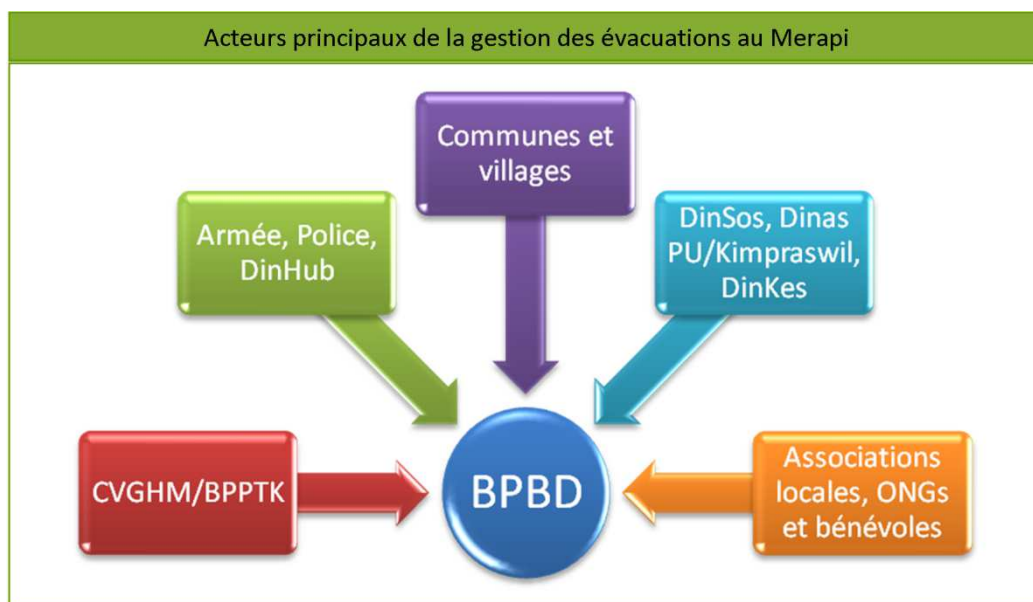


Figure 118. Les protagonistes majeurs dans la gestion des évacuations lors des crises volcaniques au Merapi

Enfin, les actions dans la phase de post-crise consistent en l'entretien régulier des infrastructures d'évacuation et l'éducation au risque. Les routes et panneaux d'évacuation peuvent être entretenus collectivement par le BPBD et les communautés locales, tandis que les camps de déplacés doivent être maintenus par les *kabupaten*et/ou les bureaux concernés (le Dinas PU, le Dinas Kesehatan, le Dinas Sosial et le BPBD). Pour limiter le nombre de victimes lors de la prochaine éruption, l'éducation au risque est nécessaire non seulement pour les habitants vivant dans la zone de KRB III, mais également dans toutes les zones de danger au Merapi.

Les propositions d'amélioration de gestion des évacuations en Indonésie, en particulier au Merapi sont synthétisées dans le Tableau 36.

Tableau 36. Synthèse de propositions d'amélioration de gestion des évacuations en Indonésie, en particulier au Merapi

Acteurs	Pré-crise	Crise	Post-crise
Tous les acteurs	- Révision des plans d'urgence basée sur le retour d'expérience	- Bonne gestion des évacuations (du déplacement des habitants et de l'organisation des camps de déplacés)	- Retour d'expérience de la dernière crise
BPBD	- Education au risque volcanique auprès des habitants dans les zones KRB et en dehors de ces zones - Entretien des panneaux d'évacuation et des camps de déplacés	- Décision et ordre d'évacuation (Bupati) - Coordination des déplacements d'évacués* et de l'organisation des camps de déplacés	- Education au risque volcanique auprès des habitants dans et en dehors des zones KRB - Sensibilisation auprès des villageois - Entretien des camps de déplacés
CVGHM/BPPTK	- Surveillance du volcan - Diffusion des informations liées à l'activité volcanique - Sensibilisation auprès des villageois en collaboration avec le BPBD	- Renforcement des moyens d'alerte pour la diffusion des informations liées à l'activité volcanique	- Révision de la carte d'aléas - Surveillance du volcan
Armée	- Planification de la gestion des déplacements d'évacués	- Coordination des déplacements d'évacués* - Fourniture de véhicules d'évacuation et de logistique	
Police		- Fourniture de véhicules d'évacuation.	
DinHub	- Planification des routes d'évacuation - Entretien des routes d'évacuation	- Coordination des déplacements d'évacués* - Fourniture de véhicules d'évacuation	
DinSos	- Planification de la gestion des distributions d'aide et de ravitaillement	- Amélioration de la fourniture et distribution de l'aide et du ravitaillement	
Dinas PU/Kimpraswil	- Entretien des routes d'évacuation - Entretien des camps de déplacés	- Fourniture de véhicules d'évacuation	
DinKes	- Planification de la gestion de la distribution d'aide et de ravitaillement	- Fourniture de véhicules médicalisés d'évacuation - Fourniture de l'aide médicale et de moyens de secours	
Communes et villages	- Création et révision des plans d'évacuation à l'échelle locale selon les retours d'expérience	- Mobilisation des villageois vers les camps de déplacés	- Education au risque volcanique auprès des habitants en collaboration avec le BPBD, le CVGHM/BPPTK, les associations locales et les ONGs
Associations locales	- Education au risque volcanique auprès des habitants en collaboration avec le BPBD, le CVGHM/BPPTK, les associations locales et les ONGs	- Diffusion des informations sur l'activité volcanique - Mobilisation des villageois vers les camps de déplacés - Aide à l'organisation des camps de déplacés	- Education au risque volcanique auprès des habitants en collaboration avec le BPBD, le CVGHM/BPPTK, les associations locales et les ONGs
ONGs et bénévoles	- Education au risque volcanique auprès des habitants en collaboration avec le BPBD, le CVGHM/BPPTK, les associations locales et les ONGs	- Mobilisation des villageois vers les camps de déplacés - Aide à l'organisation des camps de déplacés	- Education au risque volcanique auprès des habitants en collaboration avec le BPBD, le CVGHM/BPPTK, les associations locales et les ONGs

\* = peut être différent, selon le *kabupaten*.





## Références bibliographiques

- Abdurachman, E., Bourdier, J., Voight, B. 2000. Nuées ardentes of 22 November 1994 at Merapi volcano, Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 100, pp. 345-361.
- Aceves Quesada, F., Martin del Pozzo, AL., Lopez Blanco, J. 2007. Volcanic hazards of the Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico. *Natural Hazards* 41, p. 159-180.
- ADPC. 2005. *Capacity Building in Asia using Information Technology Application (CASITA)* (Vol. Module 4). Thailand: Urban Disaster Risk Management Team Asian Disaster Preparedness Center.
- Alberico, I., Bruno, L., Dal Piaz, A., Lirer, L., Petrosino, P. 2006. Urban management in area exposed to natural hazard: an example from Campi Flegrei (Southern Italy). pp. 1-12.
- Alberico, I., Petrosino, P., Maglione, G., Bruno, L., Capaldo, F.S., Dal Piaz, A., Lirer, L., Mazzola, S. 2012. Mapping the vulnerability for evacuation of the Campi Flegrei territorial system in case of a volcanic unrest. *Natural Hazards* , 64, pp. 1823-1854.
- Alexander, D. 2002. *Principles of Emergency Planning and Management*. Oxford: Oxford University Press.
- Aljazeera. 2012. Nicaragua volcano sparks evacuation orders. Décembre 2012. <http://www.aljazeera.com/news/americas/2012/12/201212275535677684.html>
- Anderson, M., Woodrow, P. 1989. *Rising from the Ashes. Development Strategies in Times of Disaster*. London: Intermediate Technology Publications.
- Andreastuti, S., Alloway, B., Smith, I. 2000. A detailed tephrostratigraphic framework at Merapi Volcano, Central Java, Indonesia: implications for eruptions predictions and hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (100).
- Antarafoto. 2010. 28 Octobre 2010. *antarafoto*. (Antara) Retrieved 02 12, 2012, from [www.antarafoto.com](http://www.antarafoto.com): <http://www.antarafoto.com/peristiwa/v1288266601/hewan-ternak-selamat>
- Augendre, M. 2004. Le risque naturel devenu symbiose? Les volcans actifs d'Hokkaidô, Japon. *Géomorphologie: relief, processus, environnement* , 10, pp. 101-116.
- Barberi, F., Davis, M.S., Isaia, R., Nave, R., Ricci, T. 2008. Volcanic Risk Perception in the Vesuvius Population. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 172, p. 244-258.
- Bardintzeff, J. 1984. Merapi Volcano (Java, Indonesia) and Merapi-type Nuées Ardentes. *Bulletin of Volcanology* , 47 (3), pp. 433-466.
- Barendregt, A., Van Noordwijk, J., Van der Doef, M., Holterman, S. 2005. *Determining the time available for evacuation of a dike-ring area by expert judgement*. Nijmegen: ISSH.
- Baxter, P. 1999. Impacts of Eruptions on Human Health. In H. Sigurdsson, B. Houghton, S. McNutt, H. Rymer, J. Stix, *Encyclopedia of Volcanoes*. San Diego: Academic Press.
- Baxter, P. 1990. Medical effects of volcanic eruptions. *Bulletin of Volcanology* , 52, pp. 532-544.
- Baxter, P., Neri, A., Todesco, M. 1998. Physical modelling and human survival in pyroclastic flows. *Natural Hazards* , 17, pp. 163-176.

- Benson, C., Twigg, J. 2007. *Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction: Guidance notes for Development Organisations*. Genève: Provention Consortium.
- Bigeon, C. 1982. Labuhan : Rite royal du kraton de Yogyakarta célébré sur la plage de Parangtritis. *Archipel* , 24, pp. 117-126.
- Bird, D. K., Gisladdottir, G., 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* , 189 (1-2), pp. 33-48.
- Bird, D., Gisladdotir, G., Dominey-Howes, D. 2009. Resident perception of volcanic hazards and evacuation procedures. *Natural Hazards and Earth System Sciences* , pp. 251-266.
- Birkmann, J. 2005. *Danger need not spell disaster - But how vulnerable are we?* UNU.
- Blong, R. 2003. Building damage in Rabaul, Papua New Guinea, 1994. *Bulletin of Volcanology* , 65 (1).
- Blong, R.J. 2000. Volcanic hazard and risk management. In Sigurdsson, Haraldur, Houghton, Bruce., McNutt, Stephen R., Rymer, Hazel., Styx, John. *Encyclopedia of Volcanoes*. San Fransisco : Academic Press
- Blong, R. J. 1984. *Volcanic Hazards: a sourcebook on the effects of eruptions*. Sidney: Academic Press.
- BNPB. 2011. *Rencana Aksi Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pascabencana Erupsi Gunung Merapi Provinsi D.I. Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah Tahun 2011-2013*. Jakarta: BNPB.
- Bode, B. 1977. Disaster, social structure and myth in the Peruvian Andes: the genesis of an explanation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 293, p.264-274
- Bode, B. 1989. *No Bells to Toll: Destruction and Creation in the Andes*. New York : Scribners
- Boothby, N., Strang, A., Wessells, M. 2006. *A world turned upside down: Social ecological approaches to children in war zones*. Bloomfeild: Kumarian Press.
- Boyolalipos. 2010. Le 25 octobre 2010. *Dukuh Pencar, bukti keganasan Merapi 1954*. <http://www.boyolalipos.com/2010/dukuh-pencar-bukti-keganasan-merapi-1954-142745>
- BPS. (2008). *Kabupaten dalam Angka*. Indonesia: Biro Pusat Statistik.
- BPS. (2009). *Kabupaten Dalam Angka*. Daerah Istimewa Yogyakarta: BPS DIY.
- BPS. (2010). *Kabupaten dalam Angka*. Indonesia: Balai Pusat Statistik.
- Bruins, H., MacGillivray, J., Synolakis, C., Benjamini, C., Keller, J., Kisch, H.J; Klügel, A., Van der Plicht, J. 2008. Geoarcheological tsunami deposits at Palaikastro (Crete) and the Late Minoan IA eruption of Santorini. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 35, pp. 191-212.
- Buffonge, C. 2000. *Volcano! Book 4, 1998 and 1999 : Montserrat looks to the future and the road to recovery*.
- Bustamante, R., Wolff, J. 2007. *Capacity Constrained Route Planner (CCRP) with Node Edge Parameter Time-Series (NEPTS)*. Minnesota: Department of Computer Science University of Minnesota.
- Burton, I., Kates, R.W., White, G.F. 1978. *The environment as hazard*. New York : Oxford University
- Buwono, S. H. 2000. A preface from the Governor of Yogyakarta Special Province Sultan Hamengku Buwono X on the occasion of the publication of the special issue on Merapi volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 100 (1-4).

- Camus, G., Gourgaud, A., Mossand-Berthommier, P., Vincent, P. 2000. Merapi (Central Java, Indonesia): An outline of the structural and magmatological evolution, with a special emphasis to the major pyroclastic events. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 100 (139-163).
- Cannon, T. 1994. Vulnerability analysis and the explanation of "natural" disasters. *Disaster* .
- Capra, L., Norini, G., Groppelli, G., Macías, J.L., Arce, J.L. 2008. Volcanic hazard zonation of the Nevado de Toluca volcano, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 176, p. 469-484.
- Carlino, S., Somma, R., Mayberry, G. 2008. Volcanic risk perception of young people in the urban areas of vesuvius: comparisons with other volcanic areas and implications for emergency managements. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 172, pp. 229-243.
- Chaline, C., Dubois-Maury, J. 1994. *La ville et ses dangers*. Paris: Masson.
- Charbonnier, S., Germa, A., Connor, C., Gertisser, R., Preece, K., Komorowski, J., Lavigne, F., Dixon, T., Connor, L. 2013. Evaluation of the impact of the 2010 pyroclastic density currents at Merapi volcano from high-resolution satellite imagery, field investigations and numerical simulations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* .
- Charbonnier, S.J., Gertisser, R. 2008. Field observations and surface characteristics of pristine block-and-ash flow deposits from the 2006 eruption of Merapi Volcano, Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177971-982
- Chen, X., Meaker, J., Zhan, B. 2006. Agent-based modeling and analysis of hurricane evacuation procedures for the Florida Keys. *Natural Hazards* , 38, pp. 321-338.
- Chen, Y., Xiao, D. 2008. Emergency Evacuation Model and Algorithms. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* , 8 (6), pp. 96-100.
- Chester, D. K. 2005. Theology and disaster studies: the need for dialogue. *Journal Volcanology and Geothermal Research* , 146, pp. 319-328.
- Chester, D. K., Duncan, A. M., Dibben, C. J. 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* , 172, pp. 216-228.
- Chester, D. 1993. *Volcanoes and Society*. London: Edward Arnold.
- Chester, D., Degg, M., Duncan, A., Guest, J. 2001. The increasing exposure of cities to the effects of volcanic eruptions: a global survey. *Environmental Hazards* , 2, pp. 89-103.
- Church, R., Sexton, R. 2002. *Modeling small area evacuation: Can existing transportation infrastructure impede public safety?* Santa Barbara: University of California:Vehicle Intelligence and Transportation Analysis Laboratory.
- Clay, E., Barrow, C., Benson, C., Dempster, J., Kokelaar, P., Pillai, N., Seaman, J. 1999. *An evaluation of HMG's response to the Montserrat volcanic emergency*. London: UK Department of International Development Evaluation Report EV635 .
- Cole-Dai, J. 2010. Volcanoes and climate September 13. *WIREs Climate Change* , 1 (6), pp. 824-839.
- Crandell, D., Mullineaux, D., Rubin, M. 1975. Mount St. Helens: recent and future behavior. *Science* , 187, pp. 438-441.
- Crisci, GM., Iovine, G., Di Gregorio, S., Lupiano, V. 2008. Lava-flow hazard on the SE flank of Mt Etna (Southern Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177, p. 778-796.

- Crisci, GM., Di Gregorio, S., Rongo, R., Scarpelli, M., Spataro, W., Calvari, S. 2003. Revisiting the 1669 Etnean eruptive crisis using a cellular automata model and implications for volcanic hazard in the Catania area. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 123, p. 211-230.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., Shirley, L. W. 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84, pp. 242-261.
- CVGHM. 2010. *Laporan Aktivitas Gunungapi Merapi*. Yogyakarta: Badan Geologi Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Damby, D., Horwell, C., Baxter, P., Delmelle, P., Donaldson, K., Dunster, C., Fubini, B., Murphy, F.A., Natrass, C., Sweeney, S., Tetley, T.D., 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*.
- Dauphiné, A. 2001. *Risques et Catastrophes*. Paris: Armand Colin.
- Davidson, J., De Silva, S. 2000. Composite volcanoes. In H. Sigurdsson, B. Houghton, S. R. McNutt, H. Rymer, J. Stix, *Encyclopedia of Volcanoes* (p. 1442 p.). San Diego: Academic Press.
- De Bézilal, Edouard., Lavigne, Franck., Hadmoko, Danang Sri., Degeai, Jean-Philippe., Dipayana, Gilang Aria., Mutaqin, Bachtiar Wahyu., Marfai, Muh Aris., Coquet, Marie., Le Mauff, Baptiste., Robin, Anne-Kyria., Vidal, Céline., Cholik, Noer., Aisyah, Nurnaning. 2013. Rain-triggered lahars following the 2010 eruption of Merapi volcano, Indonesia: A major risk. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- De Bézilal, E. 2012. *Les corridors de lahars du volcan Merapi (Java, Indonésie): des espaces entre risque et ressource*. Paris: Thèse Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- De Bézilal, É., Lavigne, F., Gaillard, J., Grancher, D., Pratomo, I., Komorowski, J.-C. 2011. The 2007 eruption of Kelut volcano (East Java, Indonesia): Phenomenology, crisis management and social response. *Geomorphology*, 136, pp. 165-175.
- De Bézilal, E., Lavigne, F., Grancher, D. 2011. 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* 525.
- De la Cruz-Reyna, S., Meli, R., Quass, R. 1999. Volcanic Crises Management. In H. Sigurdsson, B. Houghton, S. R. McNutt, H. Rymer, & J. Stix, *Encyclopedia of Volcanoes*. San Diego: Academic Press.
- De Silva, F., Eglese, R., Pidd, M. 2002. Evacuation planning and spatial decision making: designing effective spatial decision support systems through integration of technologies. In M. Mora, G. Forgionne, J. Gupta, *Decision making support systems: achievements, trends and challenges for*. 402 pp.. Hershey, PA, USA: IDI Publishing.
- De Silva, F.N., Eglese, R.W. 2000. Integrating simulation modelling and GIS: spatial decision support systems for evacuation planning. *Journal of the Operational Research Society* 51, p.423-430
- Detik. 2010. Le 25 octobre. *Detik*. Retrieved 10 27, 2012, from Personel 3 Polres dan Polda Jateng Siap Dikerahkan ke Merapi: <http://news.detik.com/read/2010/10/25/190427/1474522/10/personel-3-polres-dan-polda-jateng-siap-dikerahkan-ke-merapi?nd992203605>
- Detik Foto. 2010. Le 3 novembre. *Detik*. (Detik News) Retrieved 05 20, 2012, from [www.detik.com: http://foto.detik.com/readfoto/2010/11/05/195728/1487771/157/1/](http://foto.detik.com/readfoto/2010/11/05/195728/1487771/157/1/)

- Detik. 2010. *Kenangan Letusan Merapi Letusan Tahun 1961 Membuat Sleman Gelap Gulita*
- Detikcom. 2006. Aparat kesulitan cari penampungan sapi pengungsi merapi. Jakarta.
- Dijkstra, E. 1971. *A Short Introduction to the Art of Programming*. Texas: The University of Texas.
- Dove, M. R. 2008. Perception of volcanic eruption as agent of change on Merapi volcano, Central Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 172, pp. 329-337.
- Elissalde, B. 2000. Géographie, temps et changements spatial. *Espace géographique* , 29, pp. 224-236.
- EMA. 2005. *Evacuation Planning*. Australia: Australian Government.
- EM-DAT. 2009. [www.emdat.be](http://www.emdat.be). (Emergency Events Database: Centre for Research on Epidemiology of Disaster (CRED)) Retrieved May 18, 2010, from [www.emdat.be](http://www.emdat.be): [http://www.emdat.be/Database?disasterList/emdat\\_display\\_list.php](http://www.emdat.be/Database?disasterList/emdat_display_list.php)
- ESRI. 2006. *ArcGIS 9: ArcGIS Network Analyst Tutorial*. California: ESRI.
- Euler, L. 1759. Solutio problemarum ad geometriam situs pertinentis. *Mémoires de l'Académie des sciences de Berlin* .
- Felpeto, A., Martí, J., Ortiz, R. 2007. Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 166. p 106-116
- Ferner, B. C. 2002. Contingency Plan for the Auckland Volcanic Field. Auckland: Auckland Regional Council.
- Fowler, Jr; Floyd, J; Cosenza, Carol. 2008. Writing Effective Questions. In deLeeuw, E.D; Hox, Joop J; Dillman, Don A. *International Handbook of Survey Methodology European Association of Methodology series*. Lawrence Erlbaum Associates.136-160p.
- Freeman, P. K., Martin, L. A., Linnerooth-Bayer, J., Mechler, R., Pflug, G., Warner, K. 2003. *Disaster Risk Management: National Systems for the Comprehensive Management of Disaster Risk and Financial Strategies for Natural Disaster Reconstruction*. Washington, D.C: IADB.
- Friedel, S., Byrdina, S., Jacobs, F., Zimmer, M. 2004. Self-potential and ground temperature at Merapi volcano prior to its crisis in the rainy season 2000-2001. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 134 (149-168).
- Gaillard, J.C., Maceda, E.A. 2009. Participatory 3-dimensional mapping for disaster risk reduction. *Participatory Learning and Action*, p.109-118.
- Gaillard, J.-C. 2008. Alternative paradigms of volcanic risk perception: The case of Mt. Pinatubo in the Philippines. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 172.
- Gaillard, J., Pangilinan, M., Cadag, J., Le Masson, V., Texier, P. 2007. Accroissement des inondations et réponse des populations dans le delta de la rivière Pampanga aux Philippines. Réseau Asie.
- Gaillard, J.C., Le Mason, Virginie. 2007. Traditional societies' response to volcanic hazard in Philippines. *Mountain Research and Development* 27, p. 313-317.
- Gaudru, H. 2005. Potential Impacts of Eruptions on Volcanic Islands: Global approach for volcanic risk mitigation. *European Volcanological Society*. Genève.
- Gavilanes-Ruiz, J., Cuevas-Muñis, A., Varley, N., Gwynne, G., Stevenson, J., Saucedo-Girón, R., Pérez--Pérez, A., Aboukhalil, M., 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* , 186 (238-252).



- Georgiadou, P., Papazoglou, I., Kiranoudis, C., Markatos. 2007. Modelling emergency evacuation for major hazard industrial sites. *Reability Engineering and System Safety* , 92, pp. 1388-1402.
- Gregg, C; Houghton, B; Paton, D; Swanson, D; Johnston, D. 2004. Community preparedness for lava flows from mauna Loa and Hualalai volcanoes, Kona, Hawaii. *Bulletin of Volcanology* 66, p.531-540
- Grindsted, Annette. 2005. Interactive resources used in semi-structured research interviewing. *Journal of Pragmatics* 37, p. 1015-1035.
- Hardy, M., Wunderlich, K. 2007. *Evacuation Management Operations Modeling Assessment: Transportation Modeling Inventory*. Virginia: Noblis: research and innovative technology administration.
- Hewitt, K. 1983. *The idea of calamity in a technocratic age*. Boston : Allen and Unwin Inc.
- HMG. 2006. *Evacuation and Shelter Guidance*. York: Crown: Emergency Planning College Easingwold - HMGovernment.
- Horn, R. 2009. Coping with displacement: problems and responses in camps for the internally displaced in Kitgum, Northern Uganda. *Intervention* , 7 (2), pp. 110-129.
- Hort, M., Vöge, M., Seyfried, R., Ratdomopurbo, A. 2006. In situ observation of dome instabilities at Merapi volcano Indonesia: A new tool for volcanic hazard mitigation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 153 (301-312).
- Houtkoop-Steenstra, Hanneke. 2000. *Interaction and the Standardized Survey Interview*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Huang, H., Zhao, C., Lo, S., Lin, P. 2006. *A Multi-objective Optimization Model for Developing Emergency Evacuation Plans*. Louisiana: International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management May 14-18 New Orleans Louisiana USA.
- Huang, L. 2011. *Predicting Hurricane Evacuation Decisions: When, How Many, and How Far* (Vol. Thesis doctoral). Florida: Florida International University: Electronic Theses and Dissertations.
- Irwanto.2006. *Focused Group Discussion (FGD): Sebuah Pengantar*JakartaYayasan Obor Indonesia
- ISDR. 2009. *Terminologie pour la Prévention des risques de catastrophe* . Genève: UNISDR.
- ISDR. 2006. Troisième conférence internationale sur les systèmes d'alerte précoce. *Développement de systèmes d'alerte précoce Une liste de contrôle. III*. Bonn: ISDR.
- Jenkins, S., Komorowski, J-C., Baxter, P.J., Spence, R., Picquout, A., Lavigne, F., Surono. 2013. The Merapi 2010 eruption: An interdisciplinary impact assessment methodology for studying pyroclastic density current dynamics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- Johnston, David., Ronan, Kevin. 1999. Risk Education and Intervention. In Sigurdsson, Haraldur., Houghton, Bruce., McNutt, Stephen R., Rymer, Hazel., Styx, John. *Encyclopedia of Volcanoes*. San Diego : Academic Press.
- Johnston, D., Bebbington, M.S., Lai, C.D., Houghton, B.F., Paton, D. 1999. Volcanic Hazard Perceptions: Comparative Shifts in Knowledge and Risk. *Disaster Prevention Management* 8, p. 118-126
- Jotshi, Arun., Gong, Qiang., Batta, Rajan. 2009. Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion. *Socio-Economic Planning Sciences* 431-24

- Kates, R.W. 1971. Natural Hazard in human ecological perspective: hypotheses and models. *Economic Geography* 47, p. 438-451.
- Keam, R. 1988. *Tarawera: the volcanic eruption of 10 June 1886 A.D.* New Zealand: RF Keam Physics Department, University of Auckland.
- Kelman, I. 2003. *Defining risk*. FloodRiskNet Newsletter Issue 2.
- Kelman, I., Mather, T. 2008. Living with volcanoes: The sustainable livelihoods approach for volcano-related opportunities. *Journal Volcanology and Geothermal Research* , 172, pp. 189-198.
- Kim, S., George, B., Shekhar, S. 2007. *Evacuation Route Planning: Scalable Heuristics*. Seattle, WA: ACMGIS.
- Kindell, M. 2008. EMBLEM2; An empirically based large scale evacuation time estimate model. *Transportation Research Part A* , 42, pp. 140-154.
- Kirianov, V. 2005. Environmental Impacts of Volcanic Eruptions. In C. Yong, *Natural and Human Induced Hazards* (Vol. I). Oxford: UNESCO-EOLSS.
- Klaiman, T., Knorr, D., Fitzgerald, S., De Mara, P., Thomas, C., Heake, G., Hausman, A. 2010. Locating and communicating with at-risk populations about emergency preparedness: the vulnerable populations outreach model. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness* , 3, pp. 246-251.
- Klaten, P. 2009. *Rencana Kontingensi Erupsi Gunung Merapi*. Klaten: Pemerintah Kabupaten Klaten.
- Komorowski, J.-C., Jenkins, S., Baxter, P. J., Picquout, A., Lavigne, F., Charbonnier, S., Gertisser, R., Preece, K., Cholik, N., Budi-Santoso, A., Surono. 2013. Paroxysmal dome explosion during the Merapi 2010 eruption: Processes and facies relationships of associated high-energy pyroclastic density currents. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* .
- Komorowski, J.C., Legendre, Y., Caron, B., Boudon, G. 2008. Reconstruction and analysis of sub-plinian tephra dispersal during the 1530 AD Soufrière (Guadeloupe) eruption: implications for scenario definition and hazard assesment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 178, p. 491-515.
- Kompas. 2011. Le 10 april 2011. *Kawasan Merapi Jadi Hutan Lindung*. Retrieved May 23, 2012, from <http://regional.kompas.com/read/2011/04/10/03181587/Kawasan.Merapi.Jadi.Hutan.Lindung>
- Kompas. 2010. Le 5 novembre 2010. *Kompas - Erupsi Merapi: Abu Vulkanik Merapi Sampai Bogor*. <http://regional.kompas.com/read/2010/11/05/23434071/Abu.Vulkanik.Merapi.Sampai.Bogor>
- Kompas. 2010. Le 26 octobre 2010. *Topik Hari Ini: Merapi Meletus*. (Kompas) Retrieved 05 23, 2012, from <http://lipsus.kompas.com/topikpilihanlist/1029/Merapi.Meletus> www.kompas.com:
- Kostelny, K. 2006. A culture-based, integrative approach: Helping war-affected children. In N. Boothby, A. Strang, M. Wessells, *A world turned upside down: Social ecological approaches to children in war zones*. Bloomfield: Kumarian Press.
- Krueger, R.A; Casey, M.A. 2009. *Focus Group: A Practical Guide for Applied Research*. Thousand Oaks, CASAGE
- Laghi, M., Polo, P., Cavalletti, A., Gonella, M. 2007. *GIS applications for evaluation and management of evacuation plans in Tsunami risk areas*. Vienne: EGU.

- Lane, L., Tobin, G., Whiteford, L. 2003. Volcanic hazard or economic destitution: hard choices in Banos, Ecuador. *Environmental Hazards* , 5, pp. 23-24.
- Lara, L. 2003. The 2008 eruption of the Chait'en Volcano, Chile: a preliminary report. *Andean Geology* , 36 (1), pp. 125-129.
- Lavigne, F., Degeai, J., Komorowski, J., Guillet, S., Robert, V., Lahitte, P., Oppenheimer, C; Stoffel, M., Vidal, C.M., Wassmer, P., Hajdas, I., Hadmoko, D.S., Pratomo, I; ., De Bélizal, E., Surono. (soumis). *Identity of the volcano responsible for the mid-thirteenth century "mystery eruption" revealed : Mt. Samalas (Rinjani Volcanic Complex), Indonesia, AD 1257*. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences.
- Lavigne, F., De Coster, B., Juvin, N., Flohic, F., Gaillard, J.-C., Texier, P., Morin, J., Sartohadi, J. 2008. People's behaviour in the face of volcanic hazards: Perspectives from Javanese communities, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 172, pp. 273-287.
- Lavigne, Franck., Thouret, J-C. 2002. Sediment transportation and deposition by rain-triggered lahars at Merapi volcano, Central Java, Indonesia. *Geomorphology* 49, p. 45-69
- Lavigne, F., Thouret, J-C., Voight, B., Young, K., LaHusen, R., Marso, R., Suwa, H., Sumaryono, A., Sayudi, D.S., Dejean, M. 2000. Instrumental lahar monitoring at Merapi volcano, Central Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100, p.457-478.
- Lavigne, F. 1998. *Les lahars du volcan Merapi, Java central, Indonésie: déclenchement, budget sédimentaire, dynamique et risques associés*. Clermont-Ferrand. Thèse doctorale. Université Blaise Pascal, Clermont II
- Leone, F., 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* 186, p. 186-194
- Lesales, T. 1997. La crise éruptive de la Soufrière de Montserrat (Antilles britanniques): vulnérabilité et gestion des risques dans un espace insulaire. *Pangea* , pp. 13-24.
- Lesales, T. 1999. Zone d'abri et zone à risque, des notions-clés dans la gestion des crises volcaniques dans les Petites Antilles: les cas de la Soufrière Hills (Montserrat) et de la montagne Pelée (Martinique). In F. Pagny, F. Leone, *Les Antilles, Terres à Risques* (pp. 145-164). Paris: Karthala.
- Lesnes, C. 2006. Le 2 septembre 2006. *Un an après le passage de Katrina les détenus de la Nouvelle-Orléans racontent*. Retrieved Avril 2, 2013, from www.ldh-toulon.net: <http://www.ldh-toulon.net/spip.php?article1508>
- Lindell, M., Prater, C. 2007. Critical behavioral assumptions in evacuation time estimate analysis for private vehicles: examples from hurricane research and planning. *Journal of Urban Planning and Development* , 18.
- Lipman, P. W., Mullineaux, D. R. 1981. *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens: U.S. Geological Survey Professional Paper 1250*. USGS.
- Litman, T. 2006. Lessons From Katrina and Rita: What Major Disaster Can Teach Transportation Planners. *Journal of Transportation Engineering* , 132, pp. 11-18.
- Lo, S., Fang, Z., Lin, P., Zhi, G. 2004. An Evacuation Model: the SGEM Package. *Fire Safety Journal* , 39, pp. 169-190.

- Lu, Q., Huang, Y., & Shekhar, S. 2003. Evacuation Planning: A Capacity Constrained Routing Approach. In H. Chen, R. Miranda, D. Zeng, C. Demchak, T. Madhusudan, *Proceeding from the First NSF/NIJ Symposium ISI 2-3 June, Tucson, AZ, USA* (pp. 111-125). Arizona.
- Macías, J.L; Capra, L; Arce, J.L; Espíndola, J.M; García-Palomo, A; Sheridan, M.F. 2008. Hazard map of El Chichón volcano, Chiapas, Mexico: constraints posed by eruptive history and computer simulations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 175, p. 444-458.
- Magelang. 2009. *Rencana Kontingensi Bencana Erupsi Gunung Merapi*. Magelang: Pemerintah Kabupaten Magelang.
- Marchand, J. P. 1985. *Contraintes climatiques et espace géographiques, le cas irlandais*. Caen: Paradigme.
- Marrero, J., Garcia, A., Llinares, A., Rodriguez-Losada, J., Ortiz, R. 2010. The Variable Scale Evacuation Model (VSEM): a new tool for simulating massive evacuation processes during volcanic crises. *Natural Hazards and Earth System Sciences* , 10, pp. 747-760.
- Martí, J., Geyer, A., Andujar, J., Teixidó, F., Costa, F. 2008. Assessing the potential for future explosive activity from Teide-Pico Veijo stratovolcanoes (Tenerife, Canary Islands). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 178. p. 529-542
- Marzocchi, W., Woo, G. 2009. Principles of volcanic risk metrics: Theory and the case study of Mount Vesuvius and Campi Flegrei, Italy. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH* , 114.
- Marzocchi, W., Woo, G. 2007. Probabilistic eruption forecasting and the call for an evacuation. *Geophysical Research Letters* , 34, pp. 1-4.
- Maskrey, A. 1998. *Community Based Disaster Management* (Vol. II). Bangkok: ADPC.
- Mc Guire, W., Solana, M., Kilburn, C., Sanderson, D. 2009. Improving communication during volcanic crises on small, vulnerable islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 183, pp. 63-75.
- MCDEM. 2008. *Mass Evacuation Planning: Director's Guidelines for Civil Defence Emergency Management (CDEM) Groups [DGL 07/08]*. New Zealand: Ministry of Civil Defence & Emergency Management.
- Mei, B. 2002. *Development of trip generation models of hurricane evacuation* (Vol. Thesis doctoral). Louisiana, USA: Louisiana State University.
- Mei, E. T. W., 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 of London* , 361 (Special Publications).
- Mei, E. T. W., Lavigne, F., Picquout, A., De Bélizal, E., Brunstein, D., Grancher, D., Sartohadi, J., Cholik, N., Vidal, C. 2013. Lessons learned from the 2010 Evacuations at Merapi Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* .
- Melchior, A. 2010. *Le Merapi: la "Montagne de Feu" au centre de l'île de Java, en Indonésie*. Belgium: Lave.
- MIA VITA Team. 2012. *Handbook for Volcanic Risk Management Prevention, Crisis Management, Resilience*. Orléans: MIA VITA Team.
- Minos-Minopoulos. 2004. Perceptions of Hazard and Risk on Santorini. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 137285-310

- Morin, J. 2012. *Gestion institutionnelle et réponses des populations face aux crises volcaniques: études de cas à La Réunion et en Grande Comore*. These doctorale. Paris: Université de La Réunion.
- MPDDG. 2002. *Midi Pyrenees Developpement Durable*. Retrieved 11 28, 2012, from Midi Pyrenees Developpement Durable: [http://www.midi-pyrenees.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plan-local-gestion-de-crise\\_cle279178.pdf](http://www.midi-pyrenees.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plan-local-gestion-de-crise_cle279178.pdf)
- MunichRe. 2010. *Topics Geo: Natural catastrophes 2010 Analyses, Assessments, Positions*. Munich: Munich Re.
- Neall, V. 2006. Volcanic Soils. In V. Neall, *Land Use, Land Cover and Soil Sciences* (Vol. VII). EOLSS.
- Newhall, C. 2000. Volcano Warnings. In H. Sigurdsson, *Encyclopedia of Volcanoes* (pp. 1185-1197). San Diego: Academic Press.
- Newhall, C., Punongbayan, A. 1995. *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. Hongkong: US Geological Society.
- Newhall, C., Bronto, S., Alloway, B., Andreastuti, S., Banks, N., Bahar, I., Del Marmol, M.A; Hadisantono, R.D., McGeehin, H.R., Miksic, T.J., Rubin, M., Sayudi, D.S., Sukhyar, R., Tilling, R., Torley, R., Trimble, D., Wirakusumah, A.D. 2000. 10,000 years of explosive eruptions on Merapi volcano, Central Java: archaeological and modern implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 100, pp. 9-50.
- Newhall, C., Hendley, J., Stauffer, P. 1997. *The Cataclysmic 1991 Eruption of Mount Pinatubo, Philippines*. U.S. Geological Survey Fact Sheet 113-97.
- Oliver-Smith. 1996. Anthropological research on Hazards and Disasters. *Annual Review of Anthropology* 25303-328.
- Oliver-Smith, A. 1973. The crisis dyad: culture and meaning of medicine. In Nourishing the Humanistic: Essay in the Dialogue Between the Social Sciences and Medicine. Roger, W.R. Pittsburgh : University of Pittsburgh Press, p. 73-93.
- Orlin, J. 2003. *Introduction to Networks*. Massachusetts Institute of Technology: MIT.
- O'Keefe, P., Westgate, K., Wisner, B. 1976. Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature* 260. 5552, p. 566-567
- Pareschi, M.T., Cavarra, L., Favalli, F., Gianni, F., Meriggi, A. 2000. GIS and volcanic risk management. *Natural Hazards* 21, p.361-379.
- Pesaresi, C., Marta, M., Palagiano, C., Scandone, R. 2008. The evaluation of "social risk" due to volcanic eruptions of Vesuvius. *Natural Hazards* 47, p. 229-243
- PCEM. 2011. *Dirección General de Protección Civil* Gobierno del Estado de México: Dirección General de Protección Civil.
- Perry, R., Lindell, M. 2003. Preparedness for emergency response: Guidelines for the emergency planning process. *Disasters*, 27, pp. 36-350.
- Physorg. 2011. Le 6 juin 2011. *Chilean volcano grounds flights, coats ski*. <http://phys.org/news/2011-06-chilean-volcano-grounds-flights-coats.html>
- Picquout, A. 2013. *Impacts géographiques de l'éruption de 2010 du volcan Merapi, Java, Indonésie*. Thèse doctorale. Paris: Université Paris 1 - Panthéon Sorbonne.
- Pidd, M., de Silva, F., Eglese, R. 1996. A Simulation Model for Emergency Evacuation. *European Journal of Operational Research*, 90, pp. 413-419.

- Pigeon, P. 2002. Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits naturels. *Annales de Géographie*, No 627 - 628, pp. 452-470.
- Plunket, P., Uruñuela, G. 2008. Mountain of sustenance, mountain of destruction: The prehispanic experience with Popocatepetl Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 170, pp. 111-120.
- PolitikIndonesia. 2010. Le 25 octobre 2010. *Perintah Evakuasi juga untuk Mbah Marijan*. Retrieved 02 10, 2012, from [www.politikindonesia.com](http://www.politikindonesia.com): <http://www.politikindonesia.com/index.php?k=politik&i=12435>
- Punongbayan, R. 1995. *A Warning System for Active Volcanoes and Response to Warnings*. Manila: PHIVOLCS.
- Purbawinata, A. M., Ratdomopurbo, A., Sinulingga, L., Sumarti, S., Suharno. 1996. *A Guide Book for Merapi Volcano*. Bandung: Volcanological Survey of Indonesia.
- Purbo-Hadiwijoyo, M., Suryo, I. 1980. *Distribution pattern of the Merapi volcanic debris, South Central Java*. Bandung: V.S.I Volcanology Merapi.
- PVMBG.2009.<http://merapi.bgl.esdm.go.id>.PVMBG
- Rapicetta, S., Zanon, V. 2009. GIS-based method for the environmental vulnerability assessment to volcanic ashfall at Etna volcano. *Geoinformatica* 13, p.267-276.
- Ratdomopurbo, A., Poupinet, G. 2000. An overview of the seismicity of Merapi volcano (Java, Indonesia). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 100 (193-214).
- Rebscher, D., Westerhaus, M., Welle, W., Nandaka, G. 2000. Monitoring ground deformation at the Decade volcano, Gunung Merapi, Indonesia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 25 (755-757).
- Renschler, C.S. 2005. Scales and uncertainties in volcano hazard prediction - optimizing the use of GIS and models. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1391-2,p. 73-87.
- Reghezza, M. 2006. *Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine: la métropole parisienne face au risque de crue centennale* (Vol. These Doctorale). Paris: Université Paris X Nanterre.
- Reid, S. 1992. Acceptable Risk. In D. Blockley, *Engineering safety*. McGraw Hill.
- Renne, J. 2005. Le 6 septembre 2005. *Car-less in the Eye of Katrina*. Retrieved Janvier 21, 2013, from [www.planetizen.com](http://www.planetizen.com): <http://www.planetizen.com/node/17255>
- Robin, C., 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>).
- Robock, A. 2002. The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change. In M. C. MacCracken, J. S. Perry (Eds.), *Encyclopedia of Global Environmental Change* (pp. 737-738). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- RouteWare. 2010. *RouteFinder 3.71 for MapInfo: A Network Analysis System for MapInfo Professional*. RouteWare and Higher Mapping Solutions.
- Saadatseresht, M., Mansourian, A., Taleai, M. 2009. Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approaches. *European Journal of Operational Research*, 198, pp. 199-232.



- Sagala, S. A. 2009. *System Analysis of Social Resilience against Volcanic Risks Case Studies of Merapi, Indonesia and Mt. Sakurajima, Japan*. These doctorale. Kyoto: KURENAI: Kyoto University Reseach Information Repository.
- Sayudi, D., Nurnaning, A., Juliani, D., Muzani, M. 2010. *Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Merapi, Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta 2010 (Merapi Hazard Map, Central Java and Yogyakarta Special Region Provinces)*. Bandung.
- Schlehe, J. 2007. Cultural politics of natural disaster:. In M. Casimir, *Culture and the Changing Environment: Uncertainty, cognition, and risk management in cross-cultural perspective*. Berghahn, Oxford, New York.
- Schlehe, J. 1997. Reinterpretation of Mystical Traditions: Explanation of a Volcanic Eruption in Java. *Anthropos* , 91, pp. 391-409.
- Schramm, D., Hansen, R. 1991. Aim and Scope of Disaster Management. 1 . Wisconsin.
- SEAN. 1989. *The Smithsonian Scientific Event Alert Network (SEAN) 1975-1985*. New York: Prentice Hall.
- Sedena. 2011. *Sedena National Defense Secretariat Mexican Army and Air Force*. Retrieved Fevrier 12, 2012, from <http://www.sedena.gob.mx/en/index.php/plan-dn-iii-e/geological-phenomena/664-operations-plan-volcano-qpopocatepetlq>
- Shannon, R. 1998. Introduction to the art and science of simulation. In D. Medeiros, E. Watson, J. Carson, M. Manivannan, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*. Washington D.C, USA: Winter Simulation Conference.
- Sheffi, Y., Mahmassani, H., Powell, W. 1982. A transportation network evacuation model. *Transportation Research* , 16, pp. 209-218.
- Shi, J., Ren, A., Chen, Chi. 2009. Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions. *Automation in Construction* , 18, pp. 338-347.
- Shimizu, H., Matsushima, T., Nakada, S., Fujii, T., Takarada, S., Miyabuchi, Y., Ui, T., Miyake, Y., Sugimoto, T., Nagai, D. 2007. *Intra-meeting excursion - Unzen eruption - Disaster and recovery - Fieldtrip guide, Cities and Volcanoes 5 Conference*. Shimabara: Cities and Volcanoes 5.
- Sigurdsson, H. 2000. Introduction. In H. Sigurdsson, B. Houghton, H. Rymer, J. Styx, S. McNutt, *Encyclopedia of Volcanoes*. San Fransisco: Academic Press.
- Simkin, T., Siebert, L. 1994. *Volcanoes of the World*. Washington D.C: Smithsonian Institution.
- Sleman. 2009. *Rencana Kontingensi Bencana Erupsi Gunung Merapi*. Sleman: Pemerintah Kabupaten Sleman.
- Sleman. 2010 Le 26 octobre 2010. *Status Merapi Meningkat, Warga Segera Dievakuasi*. Retrieved Mars 4, 2012, from [www.slemankab.go.id](http://www.slemankab.go.id): <http://www.slemankab.go.id/category/berita/page/172>
- Small, C., Naumann, T. 2001. The Global Distribution of Human Population and Recent Volcanism. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards* , 3 (3-4), pp. 93-109.
- Smith, J. 2001. Evacuation Networks. In C. Floudas, & P. Pardalos, *Encyclopedia of Optimization* (Vol. 2, pp. 36-44). Kluwer Academic Publishers.
- Sofian, D. K. 2012. *Improving Evacuation Planning Based on People's Behavior in Response to Volcanic Eruption Events*. Yogyakarta and Twente: Geo-Information for Spatial Planning and Risk Management Master of Science.

- Solopos. 2010. Le 25 octobre 2010. *Gladi lapang pengungsi Merapi ditolak*. Retrieved 03 12, 2013, from Solopos: <http://www.solopos.com/2010/10/25/gladi-lapang-pengungsi-merapi-ditolak-66110>
- Solopos. 2011. Le 31 december 2011. *Solopos*. (Solopos) Retrieved March 13, 2012, from [www.soloposfm.com](http://www.soloposfm.com): <http://www.soloposfm.com/2011/12/warga-sekitar-gunung-ijen-lakukan-evakuasi-mandiri/>
- Sorensen, J., Shumpert, B., Vogt, B. 2004. Planning for protective action decision making: evacuate or shelter-in-place. *Journal of Hazardous Materials* , 104, pp. 1-11.
- Southworth, F. 1991. *Regional Evacuation Modeling: A State-of-the-Art Review*. Oak Ridge: ORNL.
- Spence, R., Komorowski, J.C., Saito, K., Brownd, A., Pomonis, A., Toyos, G., Baxter, P. 2008. Modelling the impact of a hypothetical sub-Plinian eruption at La Soufrière of Guadeloupe (Lesser Antilles). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 178, p. 516-528.
- Stepanov, A., Smith, J. M. 2009. Multi-objective evacuation routing in transportation networks. *European Journal of Operational Research* , 198, pp. 435-446.
- Stieltjes, L. 2003. *Aléas et Enjeux*. Paris: SCEREN-CNDP.
- Suaramerdeka. 2010. Le 26 octobre 2010. *Suara Merdeka*. Retrieved 10 12, 2012, from 15000 warga harus dievakuasi: [http://suaramerdeka.com/smcetak/index.php?fuseaction=beritacetak.detailberitacetak&id\\_beritacetak=128069](http://suaramerdeka.com/smcetak/index.php?fuseaction=beritacetak.detailberitacetak&id_beritacetak=128069)
- Suchman, Lucy., Birgitte, Jordan. 1992. Validity and the collaborative construction of meaning in face-to-face surveys. New York : Russel Sage.
- Sumaryono, A. 2011. *Managing the Mount Merapi Sediments*. SoloCRBOM
- Sumiyati. 2007. Makna Lambang dan Simbol Kentongan dalam Masyarakat Indonesia. *Historia Vitae* 212
- Surono, Jousset, P., Pallister, J., Boichu, M., Buongiorno, M., Budisantoso, A., Costa, F., Andreastuti, S; Prata, F., Schneider, D., Clarisse, L., Humaida, H., Sumarti, S., Bignami, C., Griswold, J., Carn, S., Oppenheimer, C., Lavigne, F. 2012. The 2010 explosive eruption of Java's Merapi volcano - a '100-year' event. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 241-242, pp. 121-135.
- Suryo, I., Clarke, M. 1985. The Occurrence and Mitigation of Volcanic Hazards in Indonesia and Exemplified at the Mount Merapi, Mount Kelud and Mount Galunggung volcanoes. *Quaternary Journal of Engineering Geology* , 18 (1), 79-98.
- Tavares, R., Galea, E. 2009. Evacuation modelling analysis within the operational research context: A combined approach for improving enclosure designs. *Building and Environment* , 44, pp. 1005-1016.
- Tazieff, H., Derruau, M. 1990. *Le volcanisme et sa prévention*. Paris: Masson.
- 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. *3ème Congrès du Réseau Asie - IMASIE*. Paris: Réseau Asie.
- Texier, P. (2009). *Vulnérabilité et réduction des risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta*. Thèse doctorale. Paris: Université Paris 7 Paris Diderot.
- The Daily News/The Journal America. 1980. *Volcano - The Eruption of Mt. St. Helens*. Longview: Longview Publishing Company.

- Thouret, Jean-Claude., Gupta, Avijit., Lube, Gert., Liew, Soo Chin., Cronin, Shane J., Surono. 2010. The 2006 pyroclastic deposits of Merapi Volcano, Java, Indonesia: High-spatial resolution IKONOS images and complementary ground based observations *Remote Sensing of Environment* 114. 1949-1967
- Thouret, J., Lavigne, F., Kelfoun, K., Bronto, S. 2000. Toward a revised hazard assessment at Merapi volcano, Central Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 100 (479-502).
- Tilling, R. I., Topinka, L., Swanson, D. A. 1990. *Eruptions of Mount St Helens: Past, Present, and Future*. USGS.
- Tilling, R. 2008. The critical role of volcano monitoring in risk reduction. *Advances in Geoscience* .
- Tobin, G., Whiteford, L. 2002. Community resilience and volcano hazard: the eruption of Tungurahua and evacuation of the Faldas in Ecuador. *Disasters* , 26 (1), pp. 28-48.
- Tobin, G., Whiteford, L., Jones, E., Murphy, A. 2007. Chronic hazard: Weighing risk against the effects of emergency evacuation from Popocatépetl, Mexico. *Papers of the Applied Geography Conferences* , 30, pp. 288-297.
- Tobin, G., Whiteford, L., Jones, E., Murphy, A., Garren, S., Padros, C. 2011. The role of individual well-being in risk perception and evacuation for chronic and acute natural hazards in Mexico. *Applied Geography* , 31, pp. 700-711.
- Toyos, G.P., Cole, P.D., Felpeto, A., Martí, J. 2007. A GIS-based methodology for hazard mapping of small pyroclastic density currents. *Natural Hazards*. 99-112 pp.
- Tribunnews. 2012. Le 12 juillet 2012. *Pengunjung Museum Gunungapi Merapi Tak Seramai Tahun Lalu*. Retrieved 22, 2013, from [www.tribunnews.com: http://jogja.tribunnews.com/2012/07/09/pengunjung-museum-gunungapi-merapi-tak-seramai-tahun-lalu](http://jogja.tribunnews.com/2012/07/09/pengunjung-museum-gunungapi-merapi-tak-seramai-tahun-lalu)
- UN. 1985. *Volcanic Emergency Management*. Geneva: United Nations.
- UNDP. 1997. *Introduction to Hazards: Third Edition* (Vol. III). UNDP: Disaster Management Training Programme.
- UNDP. 2004. *Volcano Risk Reduction: A case study from Goma (DRC)*. Disaster Reduction Unit, UNDP - Bureau for Crisis Prevention and Recovery.
- UNDRO. 1992. *An Overview of Disaster Management: Second Edition*. UNDP-UNDRO: Disaster Management Training Programme.
- Urbanik II, T. 2000. Evacuation time estimates for nuclear power plant. *Journal of Hazardous Materials* , 75, pp. 165-180.
- US Geological Survey. 2009. Le 2 février 2009. *US Geological Survey*. Retrieved January 21, 2012, from Types of Volcano Hazards: <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/>
- Van Westen, C., Alkema, D., Damen, M., Kerle, N., Kingma, N. 2006. *Multi-hazard risk assessment*. Enschede: UNU-ITC DGIM.
- Vidal, C. 2011. *Cartographie des dommages directs causés par l'éruption du volcan Merapi en 2010, Ile de Java, Indonésie*. Lille: ENS - Chimie.
- Vidiarina, H. 2010. *Contingency Planning: A Review of Selected Guidelines and Plans*. Jakarta: GITEWS-GTZ (German-Indonesian Cooperation for Tsunami Early Warning System).
- Voight, B. 1990. The 1985 Nevado del Ruiz volcano catastrophe : anatomy and retrospection. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 44 (3-4), pp. 349-386.

- Voight, B., Constantine, E., Siswamidjono, S., Torley, R. 2000. Historical eruptions of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia, 1768-1998. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (100), 69-138.
- Voight, B., Sukhyar, R., Wirakusumah, A. 2000. Introduction to the special issue on Merapi volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 100 (1-8).
- Voight, B., Young, K., Hidayat, D., Subandriyo, Purbawinata, M., Ratdomopurbo, A., Suharna., Panut., Sayudi, D.S., LaHuses, R., Marso, J., Murray, T.L., Dejean, M., Iguchi, M., Ishihara, K. 2000. Deformation and seismic precursors to dome-collapse and fountain-collapse nuees ardentes at Merapi Volcano, Java, Indonesia, 1994-1998. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 100 (1-4), pp. 261-287.
- Wassermann, J., Ohmberger, M. 2001. Automatic hypocenter determination of volcano induced seismic transients based on wavefield coherence; an application to the 1998 eruption of Mt. Merapi, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 110 (57-77).
- Westerveld-Sassen, L. 2005. The impact of the Eritrean-Ethiopian border conflict on the children in Eritrea; the role of protective factors. *Intervention: International Journal of Mental Health, Psychosocial Work & Counselling in Areas of Armed Conflict* , 3, pp. 25-32.
- Williams, R. 1997. *Lava-cooling operations during the 1973 eruption of Eldfell volcano, Heimaey, Vestmannaeyjar, Iceland*. Massachusetts: US Geological Society.
- Williams, R., Moore, J. 2000. *Man Against Volcano: The Eruption on Heimaey, Vestmanneyjar, Iceland*. US Geological Society.
- Williams, R., Moore, J. 1983. *Man against volcano: The eruption on Heimaey, Vestmannaeyjar, Iceland*. U.S: U.S. Geological Survey General Interest Publication 27.
- Wilson, T. 2009. *Vulnerability of Pastoral Farming System*. Christchurch: University of Canterbury Library.
- Wilson, T., Cole, J., Johnston, D., Cronin, S., Stewart, C., Dantas, A. 2012. Short-and long-term evacuation of people and livestock during a volcanic crisis: lessons from the 1991 eruption of Volcán Hudson, Chile. *Journal of Applied Volcanology* , 1:2, pp. 1-11.
- Wilson, T., Kaye, G., Stewart, C., Cole, J. 2007. *Impacts of the 2006 Eruption of Merapi Volcano, Indonesia, on Agriculture and Infrastructure*. GNS Science Report.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. 2004. *At Risk, Natural Hazards, people's vulnerability and disaster*. Routledge Ed.
- Witham, C. 2005. Volcanic disasters and incidents: A new database. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 148.
- Wolshon, B. 2002. *Planning for the Evacuation of New Orleans*. Retrieved Février 2013, from ITE.org: [www.ite.org/itejournal/index.asp](http://www.ite.org/itejournal/index.asp)
- Woo, G. 2008. Probabilistic criteria for volcano evacuation decisions. *Natural Hazards* , 45 (1), pp. 87-97.
- Woo, G. 1999. *The Mathematics of Natural Catastrophes*. London: Imperial College Press.
- Young, K., Voight, B., Subandriyo, Sajiman, Miswanto, Casadevall, T. 2000. Ground deformation at Merapi volcano, Java, Indonesia: Distance changes, June 1988 - October 1995. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 100, pp. 233-259.
- Zelinsky, W., Kosinsky, L. 1991. *The Emergency Evacuation of Cities; A Cross-National Historical and Geographical Study*. Maryland: Rowman & Littlefield Publishers.

- Zimmer, M., Erzinger, J. 2003. Continuous H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, <sup>222</sup>Rn and temperature measurements on Merapi volcano, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 125 (25-38).
- Zlotnicki, J., Bof, M., Perderean, L., Yvetot, P., Tjetjep, W., Sukhyar, R., Purbawinata, M.A., Suharno, B.K. 2000. Magnetic monitoring at Merapi volcano, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 100 (321-336).
- Zlotnicki, J., Li, F., Parrot, M. 2012. Detection of electromagnetic anomalies related to volcanic eruptions by DEMETER micro-satellite: August 2004 – December 2010. *EGU General Assembly 2012. 14*. Vienna: EGU2012.

# Table des matières

<b>Sommaire .....</b>	<b>3</b>
<b>Résumé/Abstract/Intisari .....</b>	<b>5</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>9</b>
<b>Introduction générale .....</b>	<b>13</b>
<b>1ère partie : Contexte général d'étude et méthodologie de recherche .....</b>	<b>19</b>
<b>Chapitre 1. Gestion des évacuations liées aux risques volcaniques.....</b>	<b>21</b>
1. <i>Cadre conceptuel et terminologie liés aux risques volcaniques.....</i>	<i>21</i>
1.1. Les risques volcaniques : différents aléas se combinant lors des éruptions .....	22
1.2. Enjeux et vulnérabilité .....	24
1.3. Conséquences des éruptions volcaniques .....	26
2. <i>Gestion des risques et des crises.....</i>	<i>30</i>
2.1. Gestion des risques.....	30
2.2. La gestion des crises volcaniques .....	32
2.3. Système d'alerte pour les éruptions volcaniques.....	34
3. <i>Les évacuations : un moyen de réduire les conséquences des catastrophes .....</i>	<i>35</i>
3.1. Concept et rôle des évacuations.....	35
3.2. Phases et types d'évacuations .....	37
3.3. Echelles appliquées dans la gestion des évacuations .....	41
3.4. La spécificité des évacuations lors des crises volcaniques .....	43
<i>Conclusion .....</i>	<i>47</i>
<b>Chapitre 2. Le Merapi : un cas représentatif du risque volcanique.....</b>	<b>49</b>
1. <i>Activité éruptive et aléas volcaniques au Merapi.....</i>	<i>49</i>
1.1. Un des volcans les plus actifs du monde .....	49
1.2. Différents aléas au Merapi.....	53
1.3. Les éruptions fortement impactantes des deux dernières décennies.....	55
2. <i>Les enjeux de la gestion des évacuations .....</i>	<i>56</i>
2.1. Cadre démographique .....	57
2.2. Cadre socioéconomique .....	59
2.3. Cadre socioculturel .....	60
2.4. Cadre fonctionnel : les routes d'évacuation .....	61
2.5. Sécurisation de la zone abandonnée.....	61
3. <i>Politique de prévention des risques et gestion des crises au Merapi.....</i>	<i>62</i>
3.1. Stratégie de réduction des risques .....	62
3.2. Système de surveillance au Merapi .....	65
3.3. Système d'alerte précoce au Merapi.....	68
3.4. Plan d'urgence pour une crise d'origine volcanique au Merapi .....	69



3.5. Institutions locales dans le contexte de la gestion des évacuations.....	71
<i>Conclusion : problématique et objectifs de la thèse.....</i>	<i>71</i>
<b>Chapitre 3. Méthodologie générale .....</b>	<b>75</b>
1. <i>Etude des évacuations de population à l'échelle du volcan.....</i>	<i>76</i>
1.1. Choix de l'approche et de la méthode.....	76
1.2. Acquisition de données concernant la vulnérabilité des populations et les capacités pour faire face aux crises volcaniques.....	76
1.2.1. PODUS (Potensi Dusun) .....	76
1.2.2. Etat des routes .....	79
1.2.3. Entretiens avec les acteurs clés : méthode et fiabilité.....	81
1.3. Récolte de données sur les déplacements temporaires des habitants lors de la crise volcanique en 2010	83
1.3.1. Questionnaires auprès des personnes déplacées sur leurs réponses lors des évacuations et la gestion de la crise volcanique de 2010 .....	83
1.3.2. Données secondaires sur les camps et déplacés par kabupaten .....	88
1.3.3. Données secondaires sur la surveillance du volcan .....	88
1.4. Collecte des données sur la gestion des évacuations de 2010 .....	88
1.4.1. SURDADU .....	88
1.4.2. Entretiens avec les personnes clés.....	89
1.4.3. Recherche bibliographique .....	90
1.5. Traitement des données.....	90
1.5.1. Intégration des données dans un Système d'Information Géographique et analyse spatiale	90
1.5.2. Analyse statistique des résultats des questionnaires .....	91
1.5.3. Modélisation des évacuations à l'échelle du volcan .....	91
2. <i>Etude de l'évacuation des populations à l'échelle locale.....</i>	<i>92</i>
2.1. Objectifs et choix de la méthode .....	92
2.2. Enquête sur la perception des risques et le comportement des populations lors des crises d'origine volcanique.....	97
2.3. Entretiens semi-directifs avec les personnes clés de la gestion des crises.....	98
2.4. <i>Focus Group Discussions</i> avant et après la crise de 2010 .....	99
2.4.1. Avant l'éruption de 2010 .....	100
2.4.2. Après l'éruption de 2010 .....	102
2.5. Maquette participative en trois dimensions.....	103
2.5.1. Construction de la maquette .....	103
2.5.2. Récolte des données en exploitant la maquette .....	104
2.5.3. Difficultés méthodologiques rencontrées.....	105
<i>Conclusion .....</i>	<i>107</i>
<b>2ème partie : Contexte général d'étude et méthodologie de recherche .....</b>	<b>109</b>
<b>Chapitre 4. Se préparer aux évacuations à la veille de l'éruption de 2010 .....</b>	<b>111</b>
1. <i>Anticipation des crises dans les zones à risque volcanique élevé .....</i>	<i>111</i>
1.1. Le plan d'urgence : condition sine qua non pour une évacuation rapide et effective .....	111
1.1.1. Le plan d'urgence au Merapi : un effort inachevé .....	111

1.1.2.	Plan opérationnel d'évacuation à l'échelle locale.....	116
1.2.	Mesures structurelles envisagées dans la préparation aux évacuations.....	118
1.2.1.	Les systèmes d'alerte communautaire : complémentarité ou primauté ?.....	118
1.2.2.	Infrastructures pour faciliter l'évacuation des populations.....	123
1.2.3.	Les SABO-dam : ouvrages de protection contre les lahars aggravant les effets des écoulements pyroclastiques.....	130
1.3.	Mesures non structurelles destinées à la préparation aux crises volcaniques.....	131
1.3.1.	Programme de sensibilisation en zone KRB III.....	132
1.3.2.	Formations pour les gestionnaires des crises et les populations locales de la zone KRB III.....	133
1.3.3.	Exercices d'évacuation.....	135
1.3.4.	Diffusion d'informations sur les risques volcaniques au public en dehors des zones KRB ..	137
2.	<i>Contraintes rencontrées dans la préparation des évacuations</i> .....	137
2.1.	Une connaissance et une perception des risques volcaniques assez variées.....	137
2.2.	Des contraintes démographiques.....	139
2.2.1.	Une région avec une forte densité de population .....	139
2.2.2.	Personnes vulnérables .....	141
2.3.	Obstacles liés au transport : une vulnérabilité fonctionnelle .....	143
2.3.1.	Des réseaux routiers peu adaptés au bon déroulement des évacuations.....	143
2.3.2.	Limitation des moyen de transport locaux .....	147
2.4.	Facteurs socioéconomiques et socioculturels de la vulnérabilité .....	150
2.4.1.	Un secteur économique primaire favorable à la densité de population et défavorable à l'acceptation des évacuations .....	150
2.4.2.	Croyance culturelle : sagesse locale ou frein aux évacuations ?.....	153
3.	<i>Mise en évidence des points faibles de la gestion des crises</i> .....	156
3.1.	Lacunes des plans d'urgence de 2009 de Merapi.....	156
3.2.	Des niveaux de préparation différents autour du volcan .....	160
	<b>CONCLUSION</b> .....	162
	<b>Chapitre 5. Etude des évacuations lors de l'éruption de 2010</b> .....	165
1.	<i>Chronologie de l'éruption de 2010</i> .....	165
1.1.	Activité volcanique et chronologie des évacuations.....	165
2.	<i>Rôles des acteurs dans la gestion des évacuations</i> .....	176
2.1.	Acteurs de la gestion de crise .....	176
2.1.1.	Les populations exposées aux risques .....	176
2.1.2.	Le gouvernement local.....	177
2.1.3.	Etablissements publics.....	178
2.1.4.	Bénévoles et institutions à but non lucratif.....	179
2.2.	Les modalités de transmission des ordres d'évacuation .....	181
3.	<i>Personnes déplacées : nombre, distribution et gestion de camps</i> .....	182
3.1.	Nombre de personnes évacuées et répartition spatiale des camps de déplacés.....	182
3.2.	Gestion des camps de déplacés.....	188
3.2.1.	Avant l'explosion majeure du 4 novembre : une gestion bien planifiée .....	188
3.2.2.	Après l'explosion du 5 novembre : une évacuation inattendue .....	196
4.	<i>Réponses aux évacuations</i> .....	200
4.1.	Réponses à l'ordre d'évacuation .....	200

4.2.	Moyens de transport utilisés .....	206
4.3.	Évacuation du bétail : un problème majeur dans la gestion des évacuations au Merapi .....	208
4.3.1.	Le bétail laissé dans les villages .....	209
4.3.2.	Le bétail évacué dans les camps .....	209
5.	<i>Retour au village</i> .....	211
5.1.	Chronologie des retours dans les villages.....	211
5.1.1.	Retour dans les zones interdites pendant la période de crise .....	211
5.1.2.	Retour dans les villages après les changements du rayon de zone interdite (période D et E) 213	
5.1.3.	Retour officiel après la baisse du niveau d'alerte .....	214
5.2.	Conditions post-crise et résilience.....	214
5.2.1.	Les « Shelter », abris temporaires.....	214
5.2.2.	Phase de redressement ou de récupération post-catastrophe (recovery stage) .....	216
6.	<i>Discussion et conclusion</i> .....	218
<b>Chapitre 6. Modélisations des évacuations.....</b>		<b>226</b>
1.	<i>Apports de la modélisation dans l'étude de la gestion des évacuations</i> .....	226
1.1.	Intérêts de la modélisation dans les approches prospectives .....	226
1.2.	Méthodes et outils utilisées pour la modélisation des évacuations.....	227
2.	<i>Méthode et outil utilisés dans cette thèse</i> .....	229
2.1.	Le Logiciel <i>RouteFinder</i> , fondé sur la théorie des graphes .....	229
2.2.	Collecte et production des données .....	230
2.2.1.	Données sur les réseaux routiers .....	230
2.2.2.	Vitesses utilisées.....	232
2.2.3.	Répartition des habitants dans les zones urbanisées.....	234
2.3.	Application des modèles à l'échelle du volcan .....	235
2.3.1.	Accessibilité routière avant l'éruption de 2010.....	235
2.3.2.	Accessibilité routière après l'éruption de 2010.....	237
2.4.	Application des modèles à l'échelle communale.....	237
3.	<i>Résultats des modélisations</i> .....	238
3.1.	Analyses à l'échelle du volcan.....	238
3.1.1.	Temps d'accès aux camps de déplacés avant l'éruption de 2010 .....	238
3.1.2.	Temps d'accès aux camps de déplacés après l'éruption de 2010 .....	242
3.2.	Analyses à l'échelle communale .....	244
3.2.1.	Le temps d'accès aux camps de déplacés.....	244
3.2.2.	De la modélisation au terrain : différences entre routes les plus rapides et routes les plus choisies .....	249
4.	<i>Discussion et conclusion</i> .....	252
<b>Conclusion générale.....</b>		<b>256</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>		<b>266</b>
<b>Table des matières.....</b>		<b>282</b>
<b>Table des figures.....</b>		<b>287</b>

<b>Table des annexes .....</b>	<b>296</b>
<i>Annexe 1. PODUS .....</i>	<i>297</i>
<i>Annexe 2. SURDADU.....</i>	<i>309</i>
<i>Annexe 3. Synthèse des campagnes d'enquêtes .....</i>	<i>317</i>
<i>Annexe 4. Questionnaire auprès des habitants (Qa).....</i>	<i>318</i>
<i>Annexe 5. Questionnaire auprès des personnes déplacées avant l'éruption majeure de la nuit du 4 au 5 novembre (Qb) .....</i>	<i>324</i>
<i>Annexe 6. Questionnaire auprès des personnes déplacées après l'éruption majeure de la nuit du 4 au 5 novembre (Qc).....</i>	<i>326</i>
<i>Annexe 7. Grille d'enquête sur les routes choisies par les habitants pour l'évacuation lors de la crise de 2010 .....</i>	<i>330</i>
<i>Annexe 8. Carte de synthèse des travaux de terrain .....</i>	<i>331</i>

## Table des figures

Figure 1. Aléas volcaniques (US Geological Survey, 2009) .....	23
Figure 2. Nombre de catastrophes naturelles de 1980 à 2010, modifié d'après MunichRe(2010) .....	24
Figure 3. Nombre de catastrophes naturelles et importance de leurs impacts en 2010 (MunichRe, 2010).....	24
Figure 4. Modèle de vulnérabilité territoriale (Cutter, et al., 2003).....	25
Figure 5. Répartition mondiale des volcans holocènes et densité de population dans le monde et en Indonésie(Small, et al., 2001) .....	29
Figure 6. Organigramme de la gestion du risque, modifié d'après ADPC (2005) .....	30
Figure 7. Eléments essentiels d'un programme efficace de réduction des risques volcaniques (Tilling, 2008).....	32
Figure 8. Incertitudes de l'activité volcanique soulevant des difficultés pour la gestion de crise(Tilling, 2008).....	33
Figure 9. Aspects majeurs de la gestion des catastrophes naturelles (Schramm, et al., 1991).....	37
Figure 10. Questions importantes pour la planification des évacuations (EMA, 2005) .....	38
Figure 11. Echelles utilisées dans les modèles de simulation d'évacuation (Hardy, et al., 2007).....	42
Figure 12. Localisation du Merapi sur l'île de Java .....	50
Figure 13. Répartition des dépôts pyroclastiques de 1911 à 2006 (PVMBG, 2009).....	52
Figure 14. Directions et distances des coulées pyroclastiques (Thouret, et al., 2000; Purbo-Hadiwijoyo, et al., 1980).....	53
Figure 15. Aléas au Merapi a. coulées pyroclastiques et b. panache de cendres volcaniques lors de l'éruption de 2010(Kompas, 2010).....	54
Figure 16. Coulées de débris ou lahars(Detik Foto, 2010).....	55
Figure 17. Carte du découpage administratif de la zone d'étude, modifiée d'après Picquout (2013).57	
Figure 18. Carte de la densité de population à l'échelle des kecamatan(d'après les données statistiques de BPS, 2008). .....	58
Figure 19. Organismes indonésiens responsables de la gestion des catastrophes aux différentes échelles administratives .....	63
Figure 20. Organismes de coordination nationale de la gestion des catastrophes en Indonésie de 1945 à nos jours.....	64
Figure 21. Répartition spatiale des observatoires au Merapi et zones de danger officielles depuis l'éruption de 2010. ....	66
Figure 22. Cartes des zones de danger en 2006 (a) et 2010 (b) .....	67
Figure 23. Niveaux d'activité du Merapi et conséquences pour la population. ....	68

Figure 24. Diffusion de l'alerte et gestion des crises volcaniques au niveau des kabupaten.....	69
Figure 25. Villages choisis pour les études à l'échelle du volcan (PODUS et SURDADU) inclus dans le zonage KRB de 2006. ....	78
Figure 26. Elaboration de la carte des frontières de villages (dusun) .....	79
Figure 27. Carte de routes à Turgo et typologie des routes (Photo : Mei, 2010) .....	81
Figure 28. Camps de déplacés choisis pour la première enquête (avant l'explosion du 4 au 5 novembre 2010) .....	85
Figure 29. Camps de déplacés choisis pour la seconde enquête (après l'explosion du 4 au 5 novembre 2010) .....	86
Figure 30. Caractéristiques des répondants aux deux enquêtes menées dans les camps (Q1 – bleu = première enquête ; Q2 – rouge = seconde enquête (Photo : Mei, 2010) .....	88
Figure 31. Villages d'étude (Turgo village, Ngargomulyo, Bronggang-Suruh) .....	93
Figure 32. Commune de Ngargomulyo sur fond de carte KRB de 2010 .....	94
Figure 33. Village de Turgo sur fond de carte KRB de 2010.....	95
Figure 34. Village de Bronggang-Suruh sur fond de carte KRB de 2010 .....	97
Figure 35. Enquêtes auprès des populations à Turgo en été 2010 (Photo : Mei, 2010) .....	98
Figure 36. Focus Group Discussion dans les villages de Turgo et Ngargomulyo (Photo : Mei, 2010)	101
Figure 37. Réalisation de la maquette participative en trois dimensions à Ngargomulyo, du 4 au 15 juillet 2011 .....	106
Figure 38. Discussion sur les risques volcaniques entre les habitants et les personnels du BPPTK en utilisant la maquette (Photo : Mei, 2010) .....	106
Figure 39. Enquêtes sur les chemins utilisés lors de l'évacuation de 2010 à partir de la maquette (Photo : Mei, 2010).....	107
Figure 40. Organisation de l'évacuation des populations à l'échelle des kabupaten (Source : Mei et al, 2013).....	115
Figure 41. Exemple de plan d'évacuation à l'échelle du dusun de Stabelan, créé collectivement par le Forum Merapi. L'emplacement des personnes vulnérables, des points de ralliement, et les routes d'évacuation y sont indiqués.....	116
Figure 42. Procédure d'évacuation à l'échelle du desa .....	117
Figure 43. Plan d'évacuation du dusun de Turgo.....	118
Figure 44. Kentongan a. devant une maison du village de Tangkil, commune de Ngargomulyo (photo : Sahrudin, 2010) b. dans un village à Java dans les années 30 (photo : Satake, 1935). .....	119
Figure 45. Différents codes de kentongan pour plusieurs utilisations (d'après l'instruction du Gouverneur de Yogyakarta No.5/INST/1980 26 Mei 1980). ....	120



Figure 46. Distribution des téléphones portables et des talkies-walkies autour du Merapi (Modifié d'après des données de PODUS, 2010). .....	121
Figure 47. Transmission des informations lors d'une crise volcanique entre les villages du Merapi : (a) les radios communautaires (Source : Jalin Merapi, 2007) reçoivent des informations des (b) observateurs de terrain - ici à Turgo (Mei, 2010).....	122
Figure 48. Répartition de camps de déplacés officiels au Merapi à la veille de l'éruption de 2010 (Sources : plans d'urgence des kabupaten de Sleman et Magelang et entretiens auprès des responsables du BPDB pour les kabupaten de Klaten et Boyolali).....	124
Figure 49. Camp de déplacés de Turgo situé à Purwobinangun (à 12 km du sommet du volcan), installé à l'époque de la colonisation hollandaise et non entretenu. ....	127
Figure 50. Organisation à double niveau des camps de déplacés dans le kabupaten de Magelang..	128
Figure 51. Panneau d'évacuation dans la commune de Ngargomulyo (Photo: Mei, 2010) .....	129
Figure 52. Travaux collectifs pour bitumer les routes d'évacuation (Detik Foto, 2010).....	130
Figure 53. Répartition spatiale des SABO-dam autour du Merapi (modifiée d'après Sumaryono, 2011). .....	131
Figure 54. Sensibilisation sur la réduction du risque d'origine volcanique : (a) auprès des villageois de Kaliurang Timur en présence du gouvernement du kabupaten de Sleman, du BPPTK et de l'Université Gadjah Mada en juillet 2010, (b) avec description du système d'alerte précoce (c) et du schéma d'évacuation (Photo : Mei, 2010). ....	133
Figure 55. Formations(a) à la gestion communautaire du risque, par l'ONG « MPBI – Masyarakat Penanggulangan Bencana Indonesia » en avril 2010 (Photo : MPBI, 2010)(b) et aux premiers secours par le PSMB en 2008 (Photo : PSMB, 2008) dans le dusun de Turgo.....	135
Figure 56. PDC dans la vallée de Boyong le 22 novembre 1994 vers 14-15h, observé depuis un point situé à 2 km à l'est de la colline de Plawangan (Photo de M. Mongin, 1994).....	138
Figure 57. Densité de population au Merapi en 2009 .....	141
Figure 58. Localisation des personnes ayant des limitations fonctionnelles (handicapés mentaux et physiques).....	143
Figure 59. Matériel et qualité des routes sur les flancs du Merapi à la veille de l'éruption de 2010 (source : relevés de terrain).....	145
Figure 60. Routes d'évacuation et points de ralliement (1-4) à Turgo .....	146
Figure 61. Capacité d'évacuation (ratio moyens de transport disponibles / population à évacuer). Seuls les villages en blanc ont une capacité d'évacuation par transports locaux suffisante. ..	149
Figure 62. Activités économiques dans le secteur primaire au Merapi .....	150
Figure 63. Ratio d'agriculteurs par rapport à la population totale et répartition des marchés autour du volcan.....	151
Figure 64. Répartition du bétail au Merapi (source : questionnaire PODUS 2010).....	153

Figure 65. Labuhan Gunung Merapi sur le flanc sud du volcan le 13 Juillet 2010 : (a) une offrande de nourriture, (b) Marijan (au milieu), (c) cérémonie sur le flanc du volcan, (d) cérémonie dans un endroit de 3 km du sommet de volcan (Photos: Mei, 2010).	155
Figure 66. Le site de Kaliadem et son bunker (a, c) avant 2006 et (b, d) après leur destruction par des PDCs (Source : Kabupaten Sleman, 2009).	156
Figure 67. Cartes opérationnelles pour la gestion des risques volcanique sur deux volcans actifs a. Popocatépetl, au Mexique (De la Cruz-Reyna, et al., 2000), b. (BPBD, 2009).	158
Figure 68. (a) Nombre journalier de séismes enregistrés lors de l'éruption du Merapi en 2010. VT = volcano-tectonic ; MP = multiphase (=hybride earthquake) ; LF = low-frequency ; Rockf = Rockfall earthquakes; Pyroclastic F = Pyroclastic flows; RSAM = Real-time Seismic Amplitude Measurement. (b) Localisation des séismes VT avant et pendant l'éruption (Surono, et al., 2012).	167
Figure 69. Chronologie de l'évacuation de 2010	170
Figure 70. Zones interdites lors des périodes d'évacuation pendant la crise éruptive de 2010 au Merapi	171
Figure 71. Zones dévastées par l'éruption du Merapi de 2010 (a) sur le flanc sud du volcan (carte modifiée d'après Vidal (2011)), (b) le village de Pelemsari où habitait le gardien du volcan (Photo : BPBD Sleman 2010), (c) terrain de golf de la commune de Umbulharjo (Image satellite: DigitalGlobe, 2010)	173
Figure 72. Description et chronologie des déplacements à Ngargomulyo pendant la crise de 2010	175
Figure 73. Répartition spatiale des camps de déplacés au Merapi en 2010	184
Figure 74. Nombre de personnes déplacées au Merapi en 2010	186
Figure 75. Nombre de personnes déplacées par <i>kabupaten</i> lors des périodes de crise volcanique du volcan Merapi en 2010	186
Figure 76. Coopération entre acteurs pour la gestion des déplacements et des camps	189
Figure 77. (a) Arrivée des personnes déplacées dans le camp de Kepuharjo le 25 octobre 2010 à 14h00 et (b) Personnes vulnérables dans le camp de Kepuharjo le 25 octobre 2010 à 15h00	191
Figure 78. (a) Installation pour la soupe populaire dans le camp de Kepuharjo le 25 octobre 2010 et (b) Activités scolaires sous les tentes au camp de déplacés	191
Figure 79. Mécanisme de distribution officielle de l'aide auprès des déplacés	192
Figure 80. Mécanisme de distribution de la nourriture dans les camps de déplacés	193
Figure 81. Répartition spatiale des camps de déplacés au kabupaten de Sleman (a) le 28 octobre 2010 à 17h00 et (b) le 30 octobre 2010 à 16h00 (Source : PSBA, 2010)	194
Figure 82. Réponses communautaires pour aider les personnes déplacées après l'éruption majeure du 4 novembre 2010.	196
Figure 83. Préparation des repas pour les personnes déplacées vivant près du Stade de Maguwoharjo lors des premiers jours après le 5 novembre 2010.	197

Figure 84. Localisation des camps de déplacés par type de camp en octobre-novembre 2010.....	199
Figure 85. Conditions sanitaires défavorables dans les camps de déplacés : (a) des mouches sur la nourriture (b) déchets au camp de déplacés (Photos ; Mei, 2010).....	200
Figure 86. Sources de l'ordre d'évacuation .....	201
Figure 87. Date d'évacuation selon l'enquête avant l'éruption du 5 novembre du Merapi .....	201
Figure 88. Refus d'évacuation dans les villages situés dans les zones interdites (Oui : au moins un refus d'évacuation dans le village concerné ; Non : aucun refus d'évacuation déclaré par le chef du village).....	201
Figure 89. Evacuation par l'Armée et l'équipe de recherche et sauvetage pour trouver les victimes ou les personnes oubliées dans les villages (a) : recherche de victimes près de la vallée de Kali Gendol le 11 novembre 2010, (b) une villageoise d'Umbulharjo évacuée de force après son refus d'évacuer le 30 octobre 2010 (Detik Foto, 2010).....	202
Figure 90. Evacuation tardive au village de Bronggang-Suruh dans la nuit du 4 au 5 novembre 2010 .....	204
Figure 91. Affichage du nom des victimes du village de Bronggang-Suruh touchées par les coulées et déferlantes pyroclastiques lors de l'explosion de la nuit du 4 au 5 novembre 2010.....	205
Figure 92. Réfutation de l'information et excuses de la part de RCTI après la diffusion d'une prédiction sur l'évolution de l'activité du Merapi le 7 novembre 2010 .....	206
Figure 93. Moyens de transport utilisés lors des évacuations : enquête avant (a) et après (b) l'éruption majeure de la nuit du 4 au 5 novembre.....	207
Figure 94. Moyens de transport utilisés lors des évacuations : (a) Évacuations organisées en utilisant les camions pour déplacer les habitants de la zone interdite (Detik Foto, 2010), (b) Évacuations spontanées en utilisant les motos (gauche : le 26 octobre 2010 ; droite : la nuit du 4 au 5 novembre 2010) (Detik Foto, 2010) .....	207
Figure 95. Evacuation du bétail : (a) Bétail évacué par l'armée à Kinahrejo le 28 octobre 2010 après la première éruption (Antarafoto, 2010), (b) Camp temporaire pour le bétail à Kebonarum, Klaten, le 6 novembre 2010.....	210
Figure 96. Retours temporaires au village lors des périodes de crise de 2010 .....	211
Figure 97. Retours au village pour nourrir les animaux : (a) Résidents de Sidorejo retournant au village pour nourrir leurs animaux le 4 novembre 2010 (Antarafoto, 2010), (b) Transport collectif des herbes vers le village (Antarafoto, 2010) .....	212
Figure 98. Confiance dans le gouvernement et les volcanologues.....	213
Figure 99. Raisons des retours temporaires au village lors de la crise de 2010 .....	213
Figure 100. Abris temporaires « shelters » sur les flancs du Merapi suite à l'éruption de 2010 .....	216
Figure 101. Phase de retour à la vie quotidienne .....	218
Figure 102. Approches employées dans les études sur la planification d'évacuation (Huang, et al., 2006).....	228
	291

Figure 103. Exemple d'utilisation de l'algorithme de Dijkstra pour calculer le chemin le moins coûteux (appelé Queue) passant par tous les nœuds du système. Le plus court chemin du nœud 1 vers les autres nœuds peut être trouvé en suivant les plus courts chemins précédents (flèches en gras), tandis que le coût des trajets est indiqué au-dessus de chaque nœud (Orlin, 2003).....	230
Figure 104. Carte et typologie du réseau routier en fonction de l'état des routes et du matériel dans lequel elles sont réalisées avant l'éruption de 2010. ....	231
Figure 105. Carte et typologie du réseau routier en fonction de l'état des routes et du matériel dans lequel elles sont réalisées après l'éruption de 2010. ....	232
Figure 106. Courbe de vitesse en fonction de la densité de véhicules (Smith, 2001). ....	234
Figure 107. Nombre d'habitants par maille de 250 m <sup>2</sup> sur les flancs du Merapi. ....	235
Figure 108. Paramétrage du RouteFinder: (a) sélection du mode de calcul, (b) choix de classes de trajets, (c) option « link drive time » .....	236
Figure 109. Calcul de temps d'accès aux camps de déplacés sur RouteFinder en utilisant la matrice de distance.....	238
Figure 110. Temps d'accès aux camps de déplacés avant l'éruption de 2010: (a) à l'état normal vitesse V1, (b) à l'état normal vitesse V2, (c) à l'état perturbé (fermeture des ponts des rivières majeures situés dans la zone des 15 km depuis le sommet) vitesse V1, et (d) à l'état perturbé vitesse V2.....	240
Figure 111. Temps d'accès aux camps de déplacés après l'éruption de 2010: (a) vitesse V1, (b) V2 .	243
Figure 112. Itinéraire d'évacuation de la commune de Ngargomulyo vers le camp de déplacés de Dukun.....	245
Figure 113. Itinéraire d'évacuation de la commune de Ngargomulyo vers le camp de déplacés de Muntilan .....	247
Figure 114. Routes dans la commune de Ngargomulyo: (a) route asphaltée connectant la maille de route connectant la maille 10 D et la maille 10 F, (b) route en terre connectant la maille D et les mailles 10C, 10B, 4A (Photos : Mei, 2011) .....	249
Figure 115. Trajets choisis par les villageois lors de l'éruption de 2010 (n = 241, 10% de la population de Ngargomulyo) .....	250
Figure 116. Trajets d'évacuation les plus rapides de Ngargomulyo à Dukun selon le modèle <i>RouteFinder</i> .....	250
Figure 117. Les éléments principaux dans la gestion des évacuations lors des crises volcaniques au Merapi .....	261
Figure 118. Les protagonistes majeurs dans la gestion des évacuations lors des crises volcaniques au Merapi .....	262



## Table des tableaux

Tableau 1. Victimes des coulées pyroclastiques lors des éruptions volcaniques du XXème siècle (Baxter, 1999; Baxter, et al., 1998).....	14
Tableau 2. Exemples d'évacuations de population et de bétail face à des éruptions volcaniques dans le monde (modifié d'après Wilson, et al., 2012). .....	15
Tableau 3. Classements de différentes vulnérabilités .....	26
Tableau 4. Eruptions volcaniques les plus meurtrières au monde .....	28
Tableau 5. Différentes échelles d'évacuation des populations (HMG, 2006).....	41
Tableau 6. Événements éruptifs inventoriés au Merapi.....	51
Tableau 7. Plans d'urgence de 2009 de chaque kabupaten .....	70
Tableau 8. Synthèse des données collectées.....	75
Tableau 9. Données PODUS recensées.....	77
Tableau 10. Personnes interrogées sur les capacités de gestion de crise par le biais d'entretiens semi-dirigés .....	82
Tableau 11. Thèmes abordés lors des entretiens semi-dirigés avec les personnes clés .....	83
Tableau 12. Objectifs des questionnaires sur les réponses lors des évacuations et de la crise volcanique de 2010.....	84
Tableau 13. Pourcentage des personnes interrogées dans les camps lors de la première enquête ...	85
Tableau 14. Pourcentage de personnes interrogées dans les camps lors de la seconde enquête .....	87
Tableau 15. Thèmes des données dans SURDADU.....	89
Tableau 16. Personnes clés interrogées (enquête en 2011 à l'échelle du volcan).....	90
Tableau 17. Répartition de la population par dusun dans la commune de Ngargomulyo en 2010.....	94
Tableau 18. Caractéristiques de la population de Turgo en 2010 .....	96
Tableau 19. Objectifs des questionnaires et questions posées (Annexe 3 – Qa) .....	98
Tableau 20. Personnes clés interrogées sur la gestion des crises à l'échelle locale.....	99
Tableau 21. Nombre de participants aux FGD avant l'éruption de 2010 .....	100
Tableau 22. Population affectée (située en zone KRB III) selon le scénario du plan d'urgence de 2009 et les données de population renouvelées via le PODUS en 2010.....	113
Tableau 23. Capacité des camps de déplacés selon les plans d'urgence de 2009 des kabupaten de Sleman et Magelang .....	125
Tableau 24. Population située dans les zones à risque selon la carte KRB de 2006 et les rayons depuis le sommet du volcan.....	140



Tableau 25. Nombre de personnes vulnérables recensées dans le Plan d'Urgence (PdU) à l'échelle des kabupaten et d'après les données PODUS.....	142
Tableau 26. Capacité de transport selon les plans d'urgence de 2009 pour chaque kabupaten. L'excès et ou le manque de capacité est calculé selon le nombre de personnes à évacuer et la capacité totale de transport (le symbole « + » en vert signifie le surplus, « - » en rouge la carence)...	148
Tableau 27. Scénarios éruptifs du volcan Popocatépetl (Mexique) dans le plan d'urgence (modifié d'après PCEM, 2011).....	157
Tableau 28. Préparation aux crises volcaniques autour du Merapi. ....	161
Tableau 29. Synthèse du nombre de personnes évacuées par périodes d'évacuation lors de l'éruption du Merapi en 2010.....	174
Tableau 30. Rôles des acteurs dans la gestion des évacuations.....	180
Tableau 31. Mesures prises au kabupaten de Sleman lors des périodes de crise volcanique au Merapi (Source : BPBD Sleman) .....	190
Tableau 32. Vitesses autorisées dans différentes régions selon le Code de la Route indonésien .....	233
Tableau 33. Vitesses utilisées dans cette étude .....	233
Tableau 34. Calculs des temps d'accès depuis chaque village de la commune de Ngargomulyoau camp de déplacés de Dukunen utilisant deux vitesses différentes.....	245
Tableau 35. Calculs des temps d'accès depuis chaque village de la commune de Ngargomulyoau camp de déplacés de Muntilan en utilisant deux vitesses différentes.....	247
Tableau 36. Synthèse de propositions d'amélioration de gestion des évacuations en Indonésie, en particulier au Merapi .....	264

## Table des annexes

Annexe 1.	PODUS
Annexe 2.	SURDADU
Annexe 3.	Synthèse des campagnes d'enquêtes
Annexe 4.	Questionnaire auprès des habitants (Qa)
Annexe 5.	Questionnaire auprès des personnes déplacées avant l'éruption majeure de la nuit du 4 au 5 novembre (Qb)
Annexe 6.	Questionnaire auprès des personnes déplacées après l'éruption majeure de la nuit du 4 au 5 novembre (Qc)
Annexe 7.	Enquête sur les routes choisies pour l'évacuation lors de la crise de 2010 (Qd)
Annexe 8.	Carte de synthèse des travaux de terrain



Annexe 1. PODUS

**DAFTAR ISIAN**  
**DATA DASAR PROFIL DUSUN**  
**DI SEKITAR GUNUNG MERAPI**

Dusun	:	
Desa	:	
Kecamatan	:	
Kabupaten	:	
Propinsi	:	

*NAMA KEPALA DUSUN* .....

*NOMOR HP* .....

TAHUN 2009

## I. POTENSI SUMBER DAYA

### MANUSIA

#### A. JUMLAH

Jumlah total ..... orang

Jumlah kepala keluarga ..... orang

#### B. UMUR

0-10 tahun (jiwa yang lahir sesudah 1999) ..... orang

Lebih dari 55 (jiwa yang lahir setelah 1955) ..... orang

#### C. RIWAYAT PENDIDIKAN PENDUDUK

Tidak sekolah ..... orang

Tamat SD/ sederajat ..... orang

Tamat SMP/ sederajat ..... orang

Tamat SMA/ sederajat ..... orang

Tamat Universitas ..... orang

#### D. MATA PENCAHARIAN POKOK

Petani ..... orang

Buruh tani ..... orang

Buruh/swasta ..... orang

Pegawai negeri ..... orang

Pengrajin ..... orang  
Pedagang ..... orang  
Peternak ..... orang  
Nelayan ..... orang  
Pertambangan penggalan ..... orang

Di dusun Anda, apakah ada pertambangan pasir/batu ? (lingkari jawaban anda)

Tidak ada                      Sedikit                      Lumayan                      Banyak

#### E. AGAMA

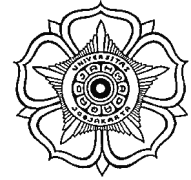
Islam ..... orang  
Kristen ..... orang  
Katholik ..... orang  
Hindu ..... orang  
Budha ..... orang

#### F. CACAT MENTAL DAN FISIK

Cacat mental .....orang  
Cacat fisik .....orang

## II. POTENSI KELEMBAGAAN

### A. LEMBAGA KEMASYARAKATAN



ORGANISASI PEREMPUAN ..... unit  
Jumlah anggota ..... orang

ORGANISASI PEMUDA ..... unit  
Jumlah anggota ..... orang

ORGANISASI PROFESI ..... unit  
(misalnya petani)  
Jumlah anggota ..... orang

ORGANISASI BAPAK ..... unit  
Jumlah anggota ..... orang

KELOMPOK GOTONG ROYONG ..... unit  
Jumlah anggota ..... orang

## B. LEMBAGA PEREKONOMIAN

KOPERASI ..... unit  
Jumlah anggota ..... orang

INDUSTRI KERAJINAN ..... unit  
Jumlah tenaga kerja ..... orang

INDUSTRI MAKANAN ..... unit



Jumlah tenaga kerja ..... orang

INDUSTRI ALAT RUMAH TANGGA ..... unit

Jumlah tenaga kerja ..... orang

INDUSTRI BAHAN BANGUNAN ..... unit

Jumlah tenaga kerja ..... orang

INDUSTRI ALAT PERTANIAN ..... unit

Jumlah tenaga kerja ..... orang

RESTORAN/warung makan ..... unit

Jumlah tenaga kerja ..... orang

TOKO/SWALAYAN ..... unit

Jumlah tenaga kerja ..... orang

WARUNG KELONTONG ..... unit

Jumlah tenaga kerja ..... orang

ANGKUTAN ..... unit

Jumlah tenaga kerja ..... orang

PASAR ..... unit

RENTENIR ..... orang

PENGIJON ..... orang

USAHA PERKEBUNAN ..... unit

Jumlah tenaga kerja ..... orang

KELOMPOK SIMPAN PINJAM ..... unit

Jumlah tenaga anggota ..... orang

### C. KELEMBAGAAN KEAMANAN

Jumlah pos kamling ..... unit

Jumlah hansip/sejenisnya ..... orang

Bentuk partisipasi masyarakat dalam keamanan lingkungan .....

## III. POTENSI PRASARANA DAN SARANA

### A. PRASARANA DAN SARANA TRANSPORTASI

Bis ..... unit

Truk ..... unit

Mobil ..... unit

Sepeda motor ..... unit

Sepeda ..... unit

Delman/dokar ..... unit

Angkot/mikrolet ..... unit

## B. PRASARANA KOMUNIKASI

### TELFON

Telfon umum ..... unit

TV umum ..... unit

HP ..... jumlah rumah tangga yang memiliki

RADIO ..... jumlah rumah tangga yang memiliki

TV ..... jumlah rumah tangga yang memiliki

parabola ..... jumlah rumah tangga yang memiliki

## C. PRASARANA AIR BERSIH

Jumlah sumur pompa ..... unit

Jumlah sumur gali ..... unit

Apakah penduduk di dusun Anda sudah pernah mengamati perubahan ketinggian air di dalam sumur?(lingkari jawaban anda)

YA      TIDAK

Jumlah mata air ..... unit

Apakah penduduk di dusun Anda sudah pernah mengamati perubahan lokasi dan volume air mata air ? (lingkari jawaban anda)

YA      TIDAK

Jumlah hidran umum	.....	unit
Jumlah embung	.....	unit
Pengguna air sumur pompa	.....	KK
Pengguna air sumur gali	.....	KK
Pengguna mata air	.....	KK
Pengguna hidran umum	.....	KK
Pengguna embung	.....	KK
Pengguna air sungai	.....	KK
Pengguna perpipaan	.....	KK
Pengguna PAM	.....	KK

**D. PRASARANA PERIBADATAN**

Jumlah masjid	.....	buah
Jumlah gereja kristen	.....	buah
Jumlah gereja katolik	.....	buah
Jumlah vihara	.....	buah
Jumlah pura	.....	buah

**E. PRASARANA KESEHATAN**

Rumah sakit umum	..... unit
Puskesmas	..... unit
Puskesmas pembantu	..... unit
Poliklinik balai pengobatan	..... unit

#### F. SARANA KESEHATAN

Jumlah dokter	..... orang
Jumlah paramedis	..... orang
Jumlah dukun terlatih	..... orang
Bidan dusun	..... orang
Ambulans	..... unit

#### G. PRASARANA PENERANGAN

Listrik PLN	..... KK
Diesel	..... KK
Lampu Minyak	..... KK

#### H. RUMAH MENURUT DINDING

Tembok	..... rumah
Tembok dan kayu	..... rumah
Kayu	..... rumah
Kayu dan bambu	..... rumah
Bambu	..... rumah

I. LAIN-LAIN

Kentongan ..... unit

Sirene ..... unit

Barak pengungsian ..... unit

Jalur evakuasi ..... unit

Panel evakuasi ..... unit

**IV. TANAMAN PANGAN**

A. TANAMAN UTAMA

TANAH KERING	TANAMAN UTAMA
<i>Tegalan</i>	<p>.....</p> <p>.....</p>
<i>Ladang</i>	<p>.....</p> <p>.....</p>
<i>Perkebunan</i>	<p>.....</p> <p>.....</p>



## B. PEMILIKAN LAHAN PERTANIAN TANAMAN PANGAN

Jumlah rumah tangga yang memiliki tanah pertanian	.....KK
Tidak memiliki	..... KK
Memiliki kurang 0,5 ha	..... KK
Memiliki 0,5 – 1,0 ha	..... KK
Memiliki lebih dari 1,0 ha	..... KK

## C. PEMILIKAN LAHAN PERKEBUNAN

Jumlah rumah tangga yang memiliki tanah perkebunan	..... KK
Tidak memiliki	..... KK
Memiliki kurang 0,5 ha	..... KK
Memiliki 0,5 – 1,0 ha	..... KK
Memiliki lebih dari 1,0 ha	..... KK

## D. LUAS KEHUTANAN

Milik negara	..... ha
Milik adat/masyarakat adat	..... ha
Perhutani	..... ha
Total	..... ha

## E. PETERNAKAN

Sapi	..... ekor
------	------------



Kerbau	..... ekor
Babi	..... ekor
Kuda	..... ekor
Kambing	..... ekor

***Terima kasih atas kerja sama Anda !***



Annexe 2. SURDADU

# SURVEI DAMPAK DUSUN MERAPI (SURDADU)

TAHUN 2011

Dusun	:	
Desa	:	
Kecamatan	:	
Kabupaten	:	
Propinsi	:	

*NAMA KEPALA DUSUN* .....

*NOMOR HP* .....

Kuestioner ini bertujuan untuk mengetahui dampak letusan Merapi 2010 di dusun dan desa yang terletak sekitar Gunung Merapi. Atas nama Mia Vita, Kantor Vulkanologi dan Forum Merapi, kami mengharapkan partisipasi dari semua pihak terkait.

PENTING

Panduan pengisian survei :

Isilah survei ini dengan bolpen warna hitam atau biru

Mohon mengisi semua lembar pertanyaan

Jika Anda tidak tahu jawabannya, silakan dicoret (-).

Jika tidak ada, silakan isi angka 0 (nol)

## POTENSI SUMBER DAYA MANUSIA

### JUMLAH PENDUDUK

Jumlah total	..... orang
Jumlah kepala keluarga	..... orang
Jumlah laki-laki	..... orang
Jumlah perempuan	..... orang
Jumlah penyandang cacat	..... orang

### UMUR

0 - 10 tahun (jiwa yang lahir sesudah 1999)	..... orang
11 - 54 tahun (jiwa yang lahir setelah 1999 dan sesudah 1955)	..... orang
Lebih dari 55 tahun (jiwa yang lahir setelah 1955)	..... orang

### MATA PENCAHARIAN POKOK

Petani	..... orang
Buruh tani	..... orang
Buruh/swasta	..... orang
Pegawai negeri	..... orang
Pengrajin	..... orang
Pedagang	..... orang
Peternak	..... orang

Pertambangan penggalan ..... orang

Setelah letusan Merapi apa ada perubahan mata pencaharian penduduk ?

Ya / tidak (coret yang tidak perlu)

Jika ya, paling banyak dari pekerjaan apa ke pekerjaan apa ? (Contoh : Petani menjadi pedagang)

.....menjadi .....

.....menjadi .....

.....menjadi .....

Di dusun Anda, apakah ada pertambangan pasir/batu ? (lingkari jawaban anda)

Tidak ada

Sedikit

Lumayan

Banyak

## EVAKUASI

### PERINGATAN EVAKUASI

(coret yang tidak perlu)

Kepala desa	Ya / Tidak
Kentongan	Ya / Tidak
Sirine	Ya / Tidak
Handy Talkie (HT)	Ya / Tidak
Radio	Ya / Tidak
Televisi	Ya / Tidak
Telepon/HP	Ya / Tidak
Teriakan tetangga	Ya / Tidak

### PERIODE PENGUNGSIAN

#### 1. Pengungsian pertama

Tanggal

...../...../.....

Jam berapa evakuasi .....:.....wib  
Sampai tanggal kapan mengungsi ...../...../.....  
Barak pengungsian mana .....  
Alat transportasi (naik apa)

Kendaraan pemerintah / TNI:

- Truk : .....unit
- Mobil : .....unit

Kendaraan lokal:

- Sepeda motor : .....unit
- Pick-up : .....unit
- Mobil : .....unit
- Truk : .....unit

2. Pengungsian kedua

Tanggal ...../...../.....  
Jam berapa evakuasi .....:.....wib  
Sampai tanggal kapan mengungsi ...../...../.....  
Barak pengungsian mana .....  
Alat transportasi (naik apa)

Kendaraan pemerintah / TNI:

- Truk : .....unit
- Mobil : .....unit

Kendaraan lokal:

- Sepeda motor : .....unit
- Pick-up : .....unit
- Mobil : .....unit
- Truk : .....unit



### 3. Pengungsian ketiga

Tanggal ...../...../.....

Jam berapa evakuasi .....:.....wib

Sampai tanggal kapan mengungsi ...../...../.....

Barak pengungsian mana .....

Alat transportasi (naik apa)

Kendaraan pemerintah / TNI:

- Truk : .....unit
- Mobil : .....unit

Kendaraan lokal:

- Sepeda motor : .....unit
- Pick-up : .....unit
- Mobil : .....unit
- Truk : .....unit

### 4. Pengungsian keempat

Tanggal ...../...../.....

Jam berapa evakuasi .....:.....wib

Sampai tanggal kapan mengungsi ...../...../.....

Barak pengungsian mana .....

Alat transportasi (naik apa)

Kendaraan pemerintah / TNI:

- Truk : .....unit
- Mobil : .....unit

Kendaraan lokal:

- Sepeda motor : .....unit
- Pick-up : .....unit
- Mobil : .....unit

▪ Truk : .....unit

### *TEMPAT PENGUNGSIAN*

Di dusun anda, berapa orang yang mengungsi di :

Resmi (yang disediakan oleh pemerintah) ..... orang

Mandiri (yang diprakarsai oleh masyarakat) ..... orang

Rumah saudara ..... orang

### *PERMASALAHAN*

Jumlah kendaraan evakuasi mencukupi tidak ? ya / tidak

Jika tidak cukup, penduduk naik apa untuk evakuasi: .....

Apakah ada penolakan evakuasi ? ya / tidak

Jika ya, berapa orang yang menolak:

Bagaimana kondisi jalur evakuasi ? baik / sedang / buruk

Di barak pengungsian apakah ada permasalahan kesehatan ? ya / tidak

Jika ya :

Sakit fisik ..... orang

Sakit psikologis (stress, bingung, ...)

Meninggal ..... jumlah

### *KORBAN*

Di dusun anda berapa orang :

Luka ringan ..... orang

Luka berat ..... orang

Meninggal di tempat ..... orang

Meninggal di rumah sakit ..... orang

Sakit pernapasan (asma,...) ..... orang

### *DAMPAK*

Berapa rupiah kerugian pertanian di dusun anda ? ..... ..rupiah

Rumah rusak sedang (atap rusak, dapur kayu rusak, ...). Masih bisa diperbaiki dan dihuni disebabkan oleh :

Awan panas ..... jumlah

Abu, pasir vulkanik ..... jumlah

Lahar ..... jumlah

Pohon tumbang ..... jumlah

Lainnya : ..... jumlah

Rumah rusak berat. Tidak bisa diperbaiki dan dihuni disebabkan oleh :

Awan panas ..... jumlah

Abu, pasir vulkanik ..... jumlah

Lahar ..... jumlah

Pohon tumbang ..... jumlah

Lainnya : ..... jumlah

Kendaraan rusak akibat letusan :

Mobil : ..... unit

Motor : ..... unit

Fasilitas publik yang rusak akibat letusan : Kantor : ..... unit  
 Tempat ibadah : ..... unit  
 Jaringan listrik : ya / tidak

Hewan ternak mati

Sapi potong ..... ekor  
 Sapi perah ..... ekor  
 Anak sapi ..... ekor  
 Kerbau ..... ekor  
 Kambing Jawa ..... ekor  
 Kambing / domba ..... ekor

Hewan ternak dievakuasi ..... ekor

Apakah di daerah anda ada wisata bencana ya / tidak

Jika ya, sekitar berapa jumlah wisatawan per minggu ..... orang

Apakah ada permasalahan tentang air setelah letusan ?

Untuk konsumsi sehari-hari (minum, MCK, hewan ternak,...) ya / tidak

Untuk irigasi ya / tidak

Apakah ada perbaikan untuk jaringan air yang rusak ? ya / tidak

Apakah ada program relokasi dan transmigrasi ? ya / tidak

Jika ya, kemana ? .....

Apakah ada bantuan dari LSM, Ormas, Orpol ? ya / tidak

***Terima kasih atas kerja sama Anda !***

### Annexe 3. Synthèse des campagnes d'enquêtes

<b>Code de questionnaire</b>	<b>Thème</b>	<b>Date</b>	<b>Taille d'échantillon</b>	<b>Retour exploitable</b>
Qa	Connaissances du risque, stratégies d'adaptation, expérience des crises	Mai – juillet 2010	143	100%
Qb	Evacuation des populations avant l'éruption majeure du 4-5 novembre	Octobre – novembre 2010	387	100%
Qc	Evacuation des populations après l'éruption majeure du 4-5 novembre	Novembre 2010	1 582	100%
Qd	Routes choisies lors de l'évacuation de 2010	Août 2011	241	100 %

## Annexe 4. Questionnaire auprès des habitants (Qa)

Tema Penelitian : Manajemen Evakuasi Bencana Alam Vulkanik , Studi Kasus di Volkan Merapi, Indonesia

Kuestioner Penduduk

« Informasi berikut digunakan hanya untuk tujuan penelitian »

Q1.	Nomer kuestioner	
Q2.	Pewawancara	
Q3.	Tanggal	
Q4.	Jam	
Q5.	Dusun	
Q6.	Desa	
Q7.	Kecamatan	
Q8.	Kabupaten	
Q9.	GPS	
Q10.	Daerah Bahaya (menurut BBPTK)	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3

I.	Pengetahuan Umum	
Q11.	a. Apakah anda ingat kejadian erupsi gunung Merapi pada tahun 1994 dan 2006?	1994 : <input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya : 2006 : <input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya :
Q12.	b. Apakah anda tahu daerah bahaya menurut BBPTK ?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya
Q13.	c. Apakah anda tahu level peringatan ancaman erupsi gunung Merapi?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya
II.	Persepsi mengenai risiko bencana vulkanik	
Q14.	a. Sudah berapa lama anda tinggal di sini?	
Q15.	b. Mengapa anda memilih untuk tinggal di sini?	<input type="checkbox"/> Murah <input type="checkbox"/> Milik pribadi <input type="checkbox"/> Warisan orang tua <input type="checkbox"/> Autres:
Q16.	c. Apakah anda tahu jika anda tinggal di daerah rawan bencana vulkanik?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya
Q16a.	<i>Jika jawaban « ya »</i> d. Mengapa anda tetap tinggal di sini walaupun tahu daerah ini bahaya ?	
Q17.	e. Menurut anda apakah Merapi bahaya ?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak tahu
Q18.	f. Apakah anda takut jika suatu saat gunung Merapi meletus?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya
Q19.	g. Menurut anda, mengapa gunung Merapi meletus ?	
Q20.	h. Desa anda pernah terkena ?	<input type="checkbox"/> Lahars



		<input type="checkbox"/> Hujan Abu/ <i>Ash fall</i> <input type="checkbox"/> Wedhus gembel/ <i>nuées ardentes</i> <input type="checkbox"/> Lainnya :
Q21.	i. Menurut anda, apakah ada desa yang lebih rawan daripada yang lainnya ?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya, di :
<b>III.</b>	<b>Sumberdaya</b>	
Q22.	a. Apakah gunung Merapi memberikan banyak berkah bagi anda dan keluarga anda?	<input type="checkbox"/> Pertanian <input type="checkbox"/> Pariwisata <input type="checkbox"/> Pertambangan <input type="checkbox"/> Lainnya :
Q23.	b. Apakah anda menjadi korban pada saat gunung Merapi meletus tahun 1994?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya
Q23a.	c. Apa sajakah kehilangan/kerusakan yang anda alami?	<input type="checkbox"/> Korban : meninggal terluka <input type="checkbox"/> Rumah rusak <input type="checkbox"/> Hewan ternak <input type="checkbox"/> Kerusakan lahan pertanian <input type="checkbox"/> Lainnya :
Q24.	d. Apakah anda menjadi korban pada saat gunung Merapi meletus tahun 2006?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya
Q24a.	e. Apa sajakah kehilangan/kerusakan yang anda alami?	<input type="checkbox"/> Korban : meninggal terluka <input type="checkbox"/> Rumah rusak <input type="checkbox"/> Hewan ternak <input type="checkbox"/> Kerusakan lahan pertanian <input type="checkbox"/> Lainnya :
<b>IV.</b>	<b>Persepsi, persiapan dan pengambilan keputusan evakuasi oleh penduduk</b>	
Q25.	a. Menurut anda, apakah evakuasi penting ?	<input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Sedang
Q26.	b. Bagaimana reaksi anda ketika ada peringatan untuk evakuasi dari pemerintah?	<input type="checkbox"/> Mengungsi langsung <input type="checkbox"/> Menunggu reaksi dari penduduk yang lain <input type="checkbox"/> Mengikuti saran juru kunci <input type="checkbox"/> Lainnya :
Q27.	c. Melalui media apa anda mendapat peringatan/ perintah untuk mengungsi ?	<input type="checkbox"/> Sirine <input type="checkbox"/> Kepala Desa <input type="checkbox"/> Walkie-talkie <input type="checkbox"/> Lainnya: <input type="checkbox"/> Handphone/ SMS <input type="checkbox"/> Tetangga <input type="checkbox"/> Kentongan/Gong en bois
Q28.	d. Jika ada peringatan/perintah untuk mengungsi, kemana anda akan pergi?	<input type="checkbox"/> Barak pengungsian <input type="checkbox"/> Balai Desa <input type="checkbox"/> Autre :
Q29.	e. Apakah anda tahu jalur pengungsian ?	<input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak
Q30.	f. Apakah anda akan mengikuti jalur pengungsian?	<input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak
Q31.	g. Apakah anda beserta keluarga mengungsi pada saat gunung	<input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak

	Merapi meletus tahun 1994 ?			
<b>Q31a.</b>	<i>Jika jawaban « ya »</i>	Dimana :	Berapa lama :	
<b>Q31b.</b>	h. Apakah evakuasi tersebut secara sukarela atautkah ada paksaan?	<input type="checkbox"/> Kewajiban/harus/ada paksaan	<input type="checkbox"/> Sukarela	
<b>Q32.</b>	i. Apakah anda beserta keluarga mengungsi pada saat gunung Merapi meletus tahun 2006 ?	<input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak	
<b>Q32a.</b>	<i>Jika jawaban « ya »</i>	Dimana :	Berapa lama :	
<b>Q32b.</b>	j. Apakah evakuasi tersebut secara sukarela atautkah ada paksaan?	<input type="checkbox"/> Kewajiban/harus/ada paksaan	<input type="checkbox"/> Sukarela	
<b>Q33.</b>	k. Kendaraan apa yang anda gunakan untuk mengungsi pada saat itu ?	<input type="checkbox"/> Mobil	<input type="checkbox"/> Bus <input type="checkbox"/> Truk	
		<input type="checkbox"/> Jalan kaki	<input type="checkbox"/> Motor <input type="checkbox"/> Sepeda	
		<input type="checkbox"/> Lainnya :		
<b>Q34.</b>	l. Bagi anda yang tidak memiliki kendaraan, anda pergi kemana ?	<input type="checkbox"/> Barak pengungsian	<input type="checkbox"/> Balai Desa	
		<input type="checkbox"/> Lainnya :		
<b>Q35.</b>	m. Apakah ada tempat untuk berkumpul ?	<input type="checkbox"/> Ya, dimana :	<input type="checkbox"/> Tidak	
<b>Q36.</b>	n. Waktu yang diperlukan untuk mengungsi :	Q36a.	Berapa lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh peringatan mengungsi?	jam/menit
		Q36b.	Berapa lama waktu yang diperlukan untuk persiapan mengungsi?	jam/menit
		Q36c.	Bagi yang tidak memiliki kendaraan pribadi, berapa lama waktu yang diperlukan untuk menuju ke tempat untuk berkumpul ?	jam/menit
		Q36d.	Berapa lama waktu yang diperlukan untuk mencapai barak pengungsian ?	jam/menit
<b>Q35.</b>	o. Apa saja yang anda bawa ketika mengungsi ?	<input type="checkbox"/> Pakaian	<input type="checkbox"/> Dokumen penting	
		<input type="checkbox"/> Makanan	<input type="checkbox"/> Ternak	
		<input type="checkbox"/> Lainnya :		
<b>Q36.</b>	p. Apakah anda pulang ke rumah saat sedang di pengungsian?	<input type="checkbox"/> Tidak	<input type="checkbox"/> Ya	
<b>Q36a.</b>	<i>Jika jawaban « ya »</i>			
	q. Untuk apa ?			
<b>Q36b.</b>	r. Setiap hari atau tidak ?	<input type="checkbox"/> Setiap hari	<input type="checkbox"/> Lainnya :	
<b>Q36c.</b>	s. Dari jam berapa hingga jam berapa ?	Dari :	Hingga :	
<b>Q37.</b>	t. Di pengungsian, adakah tempat khusus untuk ternak ?	<input type="checkbox"/> Tidak	<input type="checkbox"/> Ya	
<b>Q38.</b>	u. Apakah menurut anda penting	<input type="checkbox"/> Tidak		

	jika di pengungsian disediakan tempat khusus untuk ternak?	<input type="checkbox"/> Ya
<b>Q38a.</b>	<i>Jika jawaban « ya »</i> v. Mengapa dan dimana ?	
<b>Q39.</b>	w. Menurut anda bagaimana kondisi jalur evakuasi ?	<input type="checkbox"/> Sempurna <input type="checkbox"/> Sedang <input type="checkbox"/> Jelek <input type="checkbox"/> Lainnya :
<b>Q40.</b>	x. Menurut anda, mengapa kondisi jalur evakuasi buruk ?	<input type="checkbox"/> Truk pasir <input type="checkbox"/> Kurangnya dana pemerintah untuk pemeliharaan <input type="checkbox"/> Lainnya :
<b>Q41.</b>	y. Siapa yang seharusnya merawat kondisi jalur evakuasi ?	<input type="checkbox"/> Penambang pasir <input type="checkbox"/> Pemerintah <input type="checkbox"/> Desa <input type="checkbox"/> Lainnya :
<b>Q42.</b>	f. Apakah anda tahu dimana barak pengungsian terdekat berada ?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya, dimana : Berapa jauh :
<b>Q43.</b>	g. Menurut anda, bagaimana kondisi di barak pengungsian ?	<input type="checkbox"/> Sangat baik <input type="checkbox"/> Sedang <input type="checkbox"/> Buruk
<b>Q44.</b>	h. Apakah permasalahan di barak pengungsian?	
<b>Q45a.</b>	i. Fasilitas	
<b>Q45b.</b>	Ketersediaan air	<input type="checkbox"/> Cukup <input type="checkbox"/> Kurang
<b>Q45c.</b>	Ketersediaan MCK	<input type="checkbox"/> Cukup <input type="checkbox"/> Kurang
<b>Q45d.</b>	Fasilitas kesehatan	<input type="checkbox"/> Cukup <input type="checkbox"/> Kurang
<b>Q45e.</b>	Ketersediaan makanan	<input type="checkbox"/> Cukup <input type="checkbox"/> Kurang
<b>Q45e.</b>	<i>Relief supply</i>	<input type="checkbox"/> Cukup <input type="checkbox"/> Kurang
<b>Q46.</b>	j. Apakah anda pernah ikut simulasi evakuasi?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya
<b>Q46a</b>	<i>Jika jawaban « ya »</i> k. Kapan dan dimana:	
<b>Q47.</b>	l. Menurut anda, apakah simulasi evakuasi itu perlu ?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya
<b>Q48.</b>	<i>Jika jawaban « ya »</i> m. Seberapa sering simulasi evakuasi sebaiknya dilaksanakan ?	
<b>Q49.</b>	n. Jika gunung Merapi meletus lagi, apakah anda akan mengungsi ?	<input type="checkbox"/> Ya, tanpa syarat apapun <input type="checkbox"/> Tidak, tetep tinggal di rumah ? <input type="checkbox"/> Ya, dengan syarat
<b>V.</b>	<b>Aspek sosial budaya</b>	
<b>Q50.</b>	a. Apakah anda mengikuti saran juru kunci?	<input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Sedikit
<b>Q51.</b>	b. Mengapa anda menghormati juru kunci ?	<input type="checkbox"/> Parce que sa relation avec Sultan <input type="checkbox"/> Parce que mes parents le respectent également <input type="checkbox"/> Autre, précisez :
<b>Q52.</b>	c. Apakah keberadaan juru kunci memberikan perasaan aman ?	<input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Sedikit

Q53.	d. Selama masa krisis, siapakah yang anda ikuti ?	<input type="checkbox"/> Pemerintah - Kadus - Kades - Camat - Bupati - Gubernur	<input type="checkbox"/> Juru Kunci <input type="checkbox"/> Sultan <input type="checkbox"/> Ilmuwan <input type="checkbox"/> Lainnya :
Q53.	e. Apakah anda percaya dan patuh terhadap aturan-aturan sosial/tradisional?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Q54.	f. Apakah menurut anda, aturan-aturan tradisional cukup untuk menghadapi bahaya bencana Merapi ?	<input type="checkbox"/> Oui, pourquoi : <input type="checkbox"/> Non, pourquoi : <input type="checkbox"/> Pas sure, pourquoi :	
<b>VI. Manajemen Krisis</b>			
Q55.	a. Apakah anda dan keluarga memiliki rencana evakuasi ? Contoh : tempat bertemu keluarga, siapa melakukan apa, etc.	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya	
Q55a.	<i>Jika jawaban « ya »</i> b. Jelaskan :		
Q56.	c. Apakah ada memiliki peralatan persiapan bencana contoh : masker, obat-obatan, senter, dsb.	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya	
Q56a.	<i>Jika jawaban « ya »</i> d. Jelaskan :		
Q57.	e. Apakah anda tahu pertemuan/sosialisasi yang berkaitan dengan bahaya gunung Merapi di desa anda ?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya	
Q57a.	<i>Jika jawaban « ya »</i> f. Jelaskan :		
Q58.	g. Apakah anda turut serta dalam suatu organisasi yang menangani bencana di lingkungan anda ?	<input type="checkbox"/> Tidak <input type="checkbox"/> Ya	
<b>VIII. Informasi Umum</b>			
a. Identitas Responden			
Q59.	Nama		
Q60.	Umur		
Q61.	Tempat lahir		
b. Profil sosio-ekonomi			
Q62.	Tingkat Pendidikan	<input type="checkbox"/> Tidak sekolah <input type="checkbox"/> SD <input type="checkbox"/> SMP <input type="checkbox"/> SMA <input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> dst	
Q63.	Jenis Kelamin	<input type="checkbox"/> Laki-laki <input type="checkbox"/> Perempuan	
Q64.	Status Pernikahan	<input type="checkbox"/> Belum menikah <input type="checkbox"/> Menikah <input type="checkbox"/> Janda/Duda <input type="checkbox"/> Cerai	
Q65.	Suku	<input type="checkbox"/> Jawa <input type="checkbox"/> Lainnya :	

Q66.	Agama	<input type="checkbox"/> Muslim <input type="checkbox"/> Kristen <input type="checkbox"/> Budha <input type="checkbox"/> Hindu						
Q67.	Pekerjaan	<input type="checkbox"/> PNS <input type="checkbox"/> Petani <input type="checkbox"/> Pedagang <input type="checkbox"/> Sopir <input type="checkbox"/> Lainnya :						
Q68.	Tempat bekerja	<input type="checkbox"/> di desa <input type="checkbox"/> di luar desa						
Q69.	Waktu yang diperlukan untuk pergi ke tempat kerja (dari rumah)	..... jam/menit						
Q71.	Penghasilan	- Pertanian : - Ternak : - Perdagangan: - Pariwisata: - Lainnya :						
Q72.	Penghasilan per bulan/minggu/hari ? Istri ?							
Q73.	Keadaan rumah	<input type="checkbox"/> Rumah dengan konstruksi semen <input type="checkbox"/> Rumah dengan konstruksi kayu <input type="checkbox"/> Lainnya :						
Q74.	Status kepemilikan rumah?	<input type="checkbox"/> Pemilik <input type="checkbox"/> Penyewa <input type="checkbox"/> Lainnya :						
Q75.	Harta benda yang dimiliki di rumah ?							
Q76.	Berapa orang yang tinggal di rumah ?	<b>No</b>	<b>Nama</b>	<b>JK</b>	<b>Umur</b>	<b>Ket.</b>	<b>Tk.Pdd k</b>	<b>Pekerjaan</b>
		1.		L/P				
		2.		L/P				
		3.		L/P				
		4.		L/P				
		5.		L/P				
Q77.	Kendaraan	<input type="checkbox"/> Ya		Tipe : Jumlah :				
		<input type="checkbox"/> Tidak		Dengan apa ada bepergian ?				
Q78.	Listrik	<input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak						
Q79.	Alat komunikasi	<input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak						
		<b>No</b>	<b>Tipe</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Keterangan</b>			
		1.	TV					
		2.	Radio					
		3.	HP					
		4.	Koran		Pribadi/Bersama			

Terimakasih untuk kerjasamanya

**Annexe 5. Questionnaire auprès des personnes déplacées avant l'éruption majeure de la nuit du 4 au 5 novembre (Qb)**

**KUESTIONER PENGUNGS  
MERAPI**

TANGGAL            /       /

NAMA BARAK \_\_\_\_\_

1	Umur	
2	Jenis Kelamin	
3	Pekerjaan 1 Petani 2 Buruh tani 3 Buruh/swasta 4 Pegawai negeri 5 Pengrajin 6 Pedagang 7 Peternak 8 Nelayan 9 Pertambangan penggalian 0 Lainnya	
4	Dari Desa  Dusun	
5	Kapan Anda mengungsi 1 Pagi 2 Siang 3 Sore 4 Malam	
6	Alat transportasi untuk mengungsi 1 Sepeda 2 sepeda motor 3 mobil 4 truk 5 jalan kaki 0 lainnya	
7	Pengungsian 1 sukarela 2 paksa	



8	<p>Apakah Anda pulang ke rumah selama periode evakuasi ?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Ya</li> <li>2 Tidak</li> </ol>	
9	<p>Kalau Ya, Kapan ?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Pagi</li> <li>2 Siang</li> <li>3 Sore</li> <li>4 Malam</li> </ol>	
10	<p>Kenapa Anda pulang ke rumah ?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Memberi makan ternak</li> <li>2 Takut jika ada pencurian</li> <li>3 Sudah tidak takut lagi ancaman</li> <li>4 Ambil harta benda, dokumen</li> <li>5 Melihat kondisi rumah</li> <li>6 Melihat lahan pertanian</li> <li>7 Untuk mandi</li> <li>0 Lainnya</li> </ol>	

**Annexe 6. Questionnaire auprès des personnes déplacées après l'éruption majeure de la nuit du 4 au 5 novembre (Qc)**

**KUESTIONER PENGUNGI MERAPI**

TANGGAL        /        /

NAMA BARAK \_\_\_\_\_

<b>1</b>	Jam dilakukannya wawancara	
<b>2</b>	Umur	
<b>3</b>	Jenis Kelamin L        Laki-laki P        Perempuan	
<b>4</b>	Dari        Desa Dusun	
<b>5</b>	Agama 1        Islam 2        Kristen 3        Katolik 4        Hindu 5        Budha	
<b>6</b>	Sejak kapan Anda mengungsi Tanggal 1        Pagi 2        Siang 3        Sore 4        Malam	
<b>7</b>	Bagaimana Anda mendapatkan perintah untuk mengungsi 1        Sirine 2        Kepala desa 3        HT 4        Tetangga 5        Kentongan 6        Telepon/HP/SMS 7        Lainnya	

<p><b>8</b> Pengungsian</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 sukarela</li> <li>2 paksa</li> </ol>	
<p><b>9</b> Alat transportasi untuk mengungsi</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 sepeda</li> <li>2 sepeda motor</li> <li>3 mobil</li> <li>4 truk</li> <li>5 jalan kaki</li> <li>0 lainnya</li> </ol>	
<p><b>10</b> Apakah Anda pulang ke rumah selama periode evakuasi ?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Ya</li> <li>2 Tidak</li> </ol>	
<p><b>11</b> Kalau Ya, Kapan ?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Pagi</li> <li>2 Siang</li> <li>3 Sore</li> <li>4 Malam</li> </ol>	
<p><b>12</b> Kenapa Anda pulang ke rumah ?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Memberi makan ternak</li> <li>2 Takut jika ada pencurian</li> <li>3 Sudah tidak takut lagi ancaman</li> <li>4 Ambil harta benda, dokumen</li> <li>5 Melihat kondisi rumah</li> <li>6 Membersihkan kondisi rumah</li> <li>7 Melihat lahan pertanian</li> <li>8 Untuk mandi</li> <li>0 Lainnya :</li> </ol>	
<p><b>13</b> Pekerjaan saat ini sebelum bencana</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Petani</li> <li>2 Buruh tani</li> <li>3 Buruh/swasta</li> <li>4 Pegawai negeri</li> <li>5 Pengrajin</li> <li>6 Pedagang</li> <li>7 Peternak</li> <li>8 Nelayan</li> <li>9 Pertambangan penggalian</li> <li>10 Ibu RT</li> <li>0 Lainnya</li> </ol>	
<p><b>14</b> Apakah anda akan berganti pekerjaan setelah bencana</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 ya (+ Pekerjaan nomer berapa)</li> <li>2 Tidak</li> </ol>	

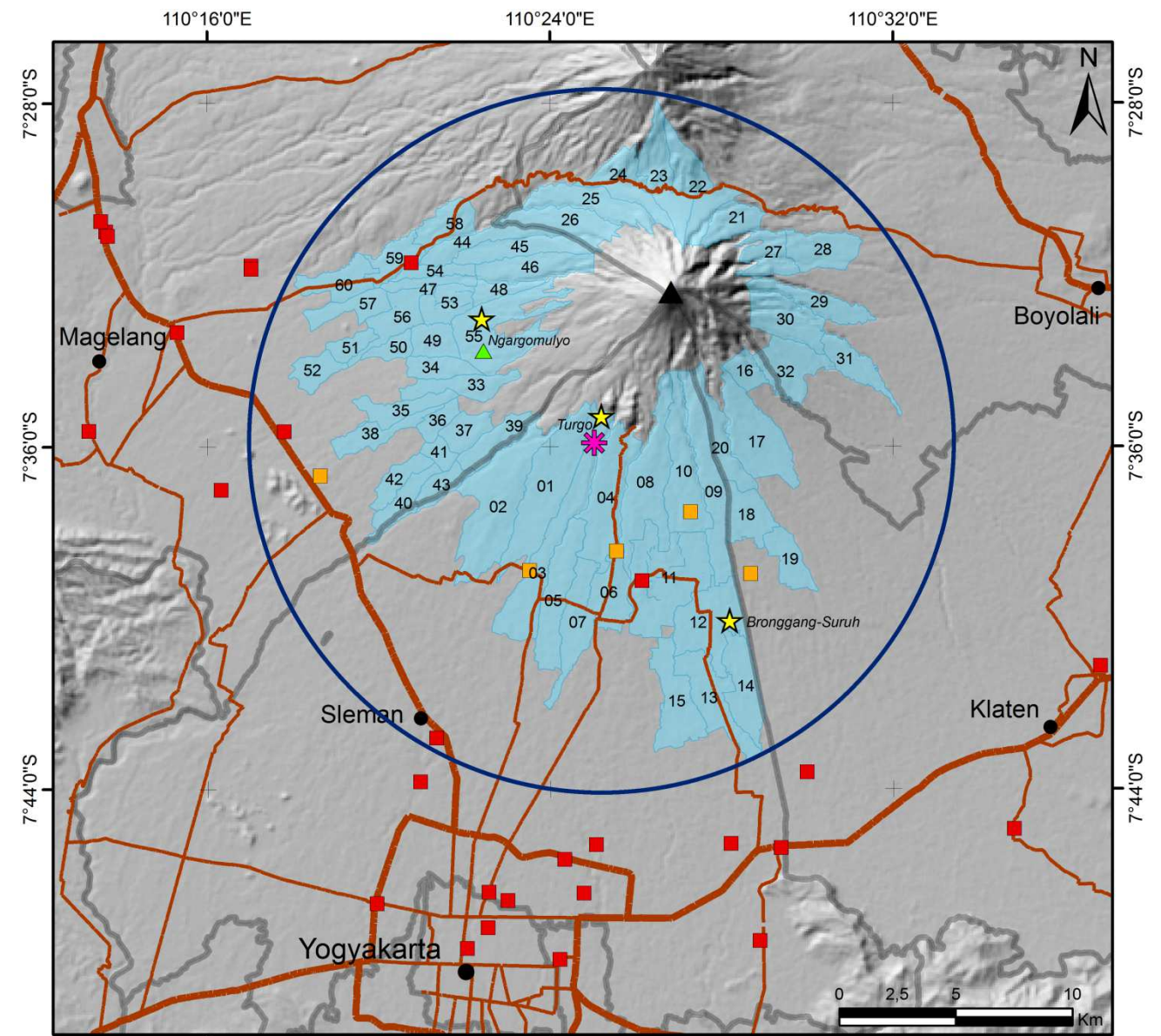
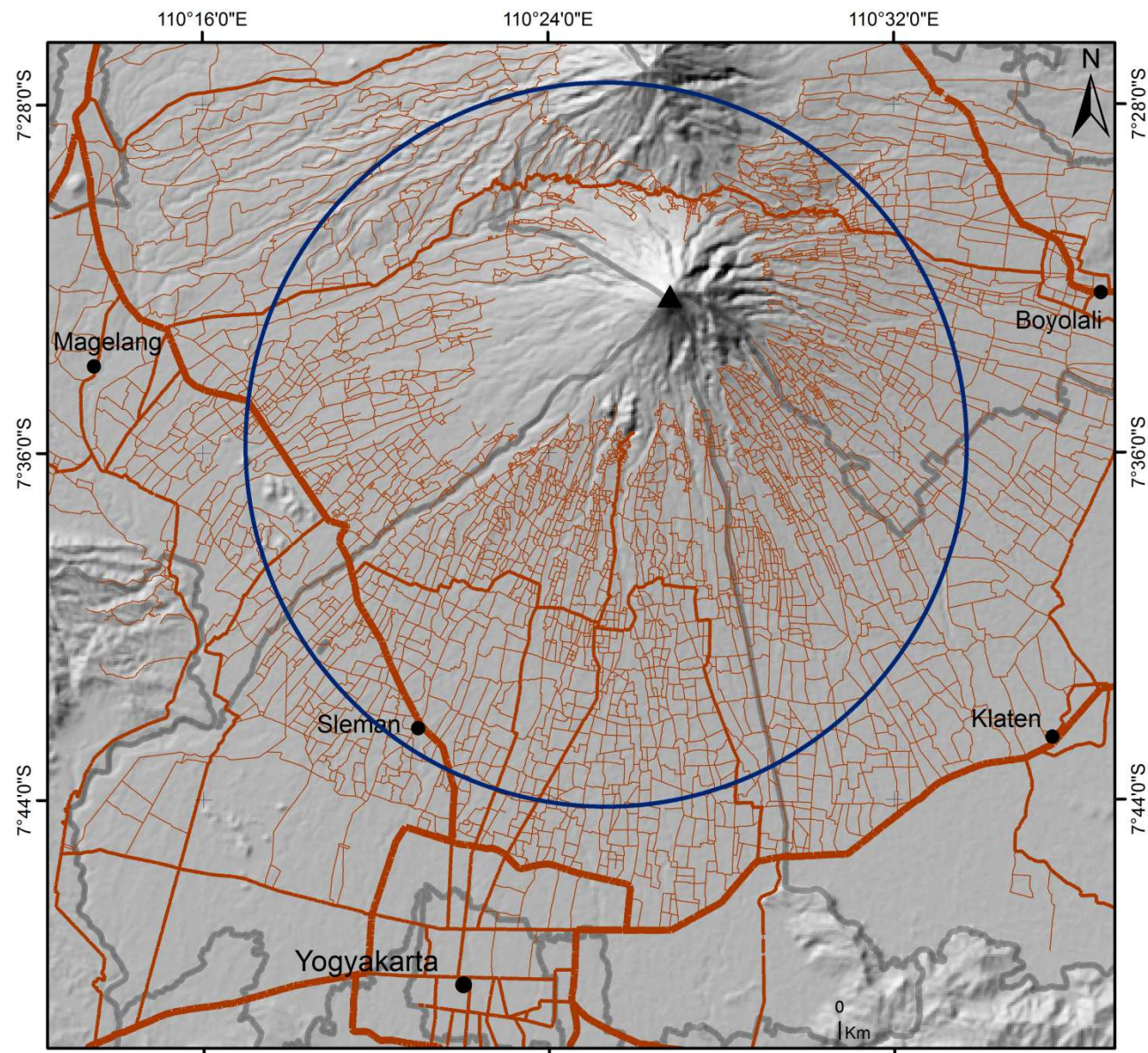
<p><b>15</b> Akan kembali tinggal di rumah Anda ?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Ya</li> <li>2 Tidak <ol style="list-style-type: none"> <li>a. relokasi</li> <li>b. transmigrasi</li> <li>c. keluarga</li> </ol> </li> </ol>	
<p>Kalau tidak kembali tinggal di dusun Anda, Anda akan pergi ke wilayah</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 di dusun yang lain</li> <li>2 di desa yang lain</li> <li>3 di kecamatan yang lain</li> <li>4 di kabupaten yang lain</li> <li>5 di provinsi yang lain</li> <li>6 ke pulau lain : (pulau apa)</li> </ol>	
<p><b>16</b> Kehilangan yang dialami akibat bencana</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Anggota keluarga (inti) yang meninggal</li> <li>2 Rumah</li> <li>3 Hewan ternak</li> <li>4 Gagal panen</li> <li>5 Kendaraan</li> <li>6 Benda berharga</li> </ol>	
<p><b>17</b> Apakah meninggalnya Mbah Marijan mempengaruhi pemikiran Anda terhadap bahaya gunung Merapi</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Sangat berpengaruh</li> <li>2 Berpengaruh</li> <li>3 Sedikit berpengaruh</li> <li>4 Tidak berpengaruh</li> </ol>	
<p><b>18</b> Menurut Anda mengapa gunung Merapi meletus ?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Tuhan (alasan religius)</li> <li>2 Alam (alasan ilmiah)</li> <li>3 Hukuman karena dosa manusia (alasan kultural - budaya)</li> <li>4 Lainnya</li> </ol>	
<p><b>19</b> Apa anda tahu Surono</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Ya</li> <li>2 Tidak</li> </ol>	
<p>Kalau ya, apa yang Anda ketahui tentang Surono</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Penanggungjawab gunung merapi</li> <li>2 Penyelamat penduduk sekitar merapi</li> <li>3 Orang yang melarang kita tinggal dimerapi (selama krisis), padahal kita ingin pulang</li> <li>4 Juru kunci yang baru setelah Mbah Maridjan</li> </ol>	

<b>20</b> Apakah sekarang anda lebih mempercayai BPPTK (vulkanolog) dan Pemerintah	
1 sangat percaya	
2 percaya	
3 sedikit percaya	
4 tidak percaya	





Annexe 8. Carte de synthèse des travaux de terrain



- |  |  |   |                        |                |                             |
|--|--|---|------------------------|----------------|-----------------------------|
| ▲ Sommet                               | ● Capitale de kabupaten                          | — Route nationale                                 | — Route departementale | — Route locale | □ Frontière de kabupaten    |
| <b>Synthèse des travaux de terrain</b> |  |   |                        |                |                             |
| ✳ Enquête auprès des habitants (Qa)    | ■ Enquête auprès des évacués pré 04/11/2010 (Qb) | ■ Enquête auprès des évacués post 04/11/2010 (Qc) | ★ Discussion de groupe | ▲ Maquette     | ■ Podus, Surdadu, Entretien |
| ○ Périmètre d'étude des routes         |  |   |                        |                |                             |
| <b>Noms de desa :</b>                  |  |   |                        |                |                             |
| <b>Sieman</b>                          | <b>Klaten</b>                                    | <b>Magelang</b>                                   | <b>Boyolali</b>        |                |                             |
| 01 Girikerto                           | 16 Tegalmulyo                                    | 30 Mriyan   | 45 Paten               |                |                             |
| 02 Wonokerto                           | 17 Sidorejo                                      | 31 Lanjaran                                       | 46 Krinjing            |                |                             |
| 03 Purwobinangun                       | 18 Panggang                                      | 32 Sangup   | 47 Mangunsoko          |                |                             |
| 04 Hargobinangun                       | 19 Talun   | 33 Ngargosoko                                     | 48 Keningar            |                |                             |
| 05 Candibinangun                       | 20 Balerante                                     | 34 Tegalrandu                                     | 49 Kalibening          |                |                             |
| 06 Pakembinangun                       | 21 Suroteleng                                    | 35 Mranggen                                       | 50 Wates               |                |                             |
| 07 Harjobinangun                       | 22 Samiran                                       | 36 Ngablak  | 51 Ngadipuro           |                |                             |
| 08 Umbulharjo                          | 23 Lencoh  | 37 Kemiren  | 52 Ketunggeng          |                |                             |
| 09 Glagaharjo                          | 24 Jrahah  | 38 Srumbung                                       | 53 Sumber              |                |                             |
| 10 Kepuharjo                           | 25 Klakah  | 39 Kaliurang                                      | 54 Sewukan             |                |                             |
| 11 Wukirsari                           | 26 Tlogolele                                     | 40 Sudimoro                                       | 55 Ngargomulyo         |                |                             |
| 12 Argomulyo                           | 27 Wonodoyo                                      | 41 Kamongan                                       | 56 Dukun               |                |                             |
| 13 Bimomartani                         | 28 Gedangan                                      | 42 Jerukagung                                     | 57 Banyudono           |                |                             |
| 14 Sindumartani                        | 29 Clunthang                                     | 43 Nglumut  | 58 Kapuhan             |                |                             |
| 15 Widodomartani                       |  | 44 Sengi  | 59 Krogowanan          |                |                             |
|  |  |   | 60 Sawangan            |                |                             |





## Résumé

Le Merapi, sur l'île indonésienne de Java, est l'un des volcans les plus actifs au monde. Ses pentes sont densément habitées jusqu'à un rayon de 4 km autour du sommet, et plus de 50 000 personnes vivent dans la zone la plus dangereuse (KRB III), exposée aux coulées et déferlantes pyroclastiques, un des aléas volcaniques les plus meurtriers. Dans ce contexte, l'évacuation temporaire des zones menacées est, en cas d'éruption, le seul moyen envisageable de réduction du risque pour les populations.

L'objectif de cette thèse est d'analyser les réponses institutionnelles et communautaires déployées face aux crises volcaniques au Merapi, en particulier lors de l'éruption majeure de 2010. L'évaluation de ces réponses et des capacités de gestion de crise repose sur des retours d'expérience d'éruptions récentes, surtout celle de 2010, dont le vécu a permis de recueillir des données de première main sous forme de questionnaires, entretiens, discussions de groupe et maquette participative en trois dimensions.

Les résultats présentés portent dans un premier temps sur l'analyse des facteurs de toutes natures (socioéconomiques, politiques, culturels, fonctionnels, etc.) susceptibles d'influencer la décision d'évacuer et le déroulement des évacuations, en nous fondant notamment sur des analyses rétrospectives sur les éruptions de 1994 et 2006. Dans un second temps, nous décortiquons la gestion de crise et en particulier le processus d'évacuation lors de l'éruption de 2010. Dans un dernier temps, cette thèse propose des modélisations d'évacuation à deux échelles : celle du massif volcanique et celle d'une localité, ceci dans une démarche prospective. Ces analyses permettent au final de mettre en évidence les lacunes dans la gestion des évacuations lors des crises volcaniques en Indonésie, et de proposer des améliorations pour une meilleure préparation aux niveaux institutionnel et communautaire.

Mots clés : évacuation, gestion de crise, crise volcanique, Merapi, Indonésie.

## Abstract

Merapi volcano, located in the Java Island, Indonesia, is one of the world's most active volcanoes. Its slopes are densely populated until a 4 km radius around the summit. More than 50,000 people living in the most dangerous area (KRB III) are exposed to pyroclastic density currents (PDCs), one of the deadliest volcanic hazards. In this context, temporary evacuation of the threatened zone, during eruption, is the only possible way to reduce the risk of population.

The objective of this thesis is to analyze the institutional and community responses in coping with volcanic crises, especially during the 2010 major eruption of Merapi. An evaluation of these responses and capacities of crisis management was done based on the lessons learned from recent eruptions, especially the 2010. First hand data were obtained using questionnaires, interviews, focus group discussions and participatory three dimensional map.

In the first place, the results of this thesis were built upon the analysis of the factors influencing evacuation decision and the evacuation process, notably based on the 1994 and 2006 eruptions. Secondly, we studied the crisis management and, in particular, the evacuation process during the 2010 eruption. Finally, we conducted evacuation modeling, in a term of forward looking approach, at two scales: on the entire volcano and local level. This analysis highlights the gaps in evacuation management during volcanic crisis in Indonesia and suggests improvements for better preparation for institutional and community levels.

Key words: evacuation, crisis management, volcanic crisis, Merapi, Indonesia.