



HAL
open science

Evaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du Paillon, Nice, Alpes-Maritimes.

Nassima Hesas

► To cite this version:

Nassima Hesas. Evaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du Paillon, Nice, Alpes-Maritimes.. Géographie. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2005. Français. NNT: . tel-00142644

HAL Id: tel-00142644

<https://theses.hal.science/tel-00142644>

Submitted on 20 Apr 2007

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 GRENOBLE I – JOSEPH FOURIER
INSTITUT DE GEOGRAPHIE ALPINE
Ecole doctorale 454 « Sciences de l'Homme, du politique et du territoire »
UMR PACTE 5194

Thèse présentée, et soutenue publiquement le 15 décembre 2005,
Par

Nassima HESSAS

pour l'obtention du Doctorat de l'Université Joseph Fourier
Discipline : Géographie Physique

Evaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du Paillon, Nice, Alpes – Maritimes.



Membres du Jury

Président : M^r S. BIGOT
Rapporteur : M^{me} Y. DJELLOULI
Rapporteur : M^r F. GUARNIERI
Examineur : M^r J.M. SALLUZO
Directeur : M^r H. GUMUCHIAN
Codirecteur : M^r R. NEDJAI

Professeur.....Université de Grenoble
ProfesseurUniversité du Maine
Directeur.....Pôle Cindyniques Sophia-Antipolis
Commandant.....SDIS Villeneuve-Loubet
Professeur.....Université de Grenoble
Maître de Conférences...Université de Grenoble

Dédicace

A mes **Parents**, mes **Sœurs** et **Frères** pour une présence et une écoute jamais démenties.

A **Saïd- Rachid**

A toutes celles et ceux qui de l'école primaire à l'université m'ont appris à ouvrir des portes.

Remerciements

Mes remerciements vont à messieurs **hervé GUMUCHIAN**, professeur et **Rachid NEDJAI** maître de conférences à l'Institut de Géographie Alpine, pour avoir accepté de diriger ce travail.

Aux Membres du jury :

- Madame **DJELLOULI Y.**, Professeur, université du Maine
- Monsieur **GUARNIERI F.**, HDR, Pole Cindyniques Sophia Antipolis Nice
- Monsieur **SALUZZO JM**, commandant Pompier SDIS 06
- Monsieur **BIGOT S.**, Professeur université Joseph Fourier Grenoble

A **Françoise ALLIGNOL** et **Arona DIEDHIOU** qui m'ont reçue pendant 6 mois au **LTHE, UJF GRENOBLE**.

Aux **Pompiers du SDIS de Cagne sur Mer et de Villeneuve Loubet** avec lesquels j'ai partagé une semaine de vie, j'ai apprécié leur sens de l'hospitalité, leur dévouement aux autres, leur envie de transmettre.

A **Denise KHAN** et **Sami DKHIL** qui montrent chaque jour que la solidarité n'est pas un vain mot

Ma gratitude va à **Luc DESCROIX** pour m'avoir relue et prodiguée ses conseils.

Si au cours de ce cheminement, il m'est arrivé de connaître quelques vicissitudes j'ai fait mien cet adage « tout ce qui ne me tue pas me grandit ». Je ferai à l'avenir plus attention aux autres, ne verrai si l'occasion m'était donnée d'eux, abstraction faite de toute considération que leur volonté de bien faire.

SOMMAIRE

Introduction générale

1^{ère} Partie

Evolution du patrimoine forestier méditerranéen face au risque incendie ; présentation des données écologiques, abiotiques et biotiques, du bassin versant du Paillon, Nice, Alpes-Maritimes

Chapitre I : Insertion de la composante «étude du feu dans la forêt méditerranéenne», modifications physiques et conséquences biologiques

Chapitre II : Analyse spatiale (géographie) et écologie du milieu d'étude : bassin versant du Paillon, Nice, Alpes-Maritimes

2^{ème} Partie

Le feu : de l'analyse scientifique à de la gestion politique

Chapitre III : Caractéristiques de l'aléa feu de forêt : étude physico-chimique de l'élément, ses causes et son comportement

Chapitre IV : Méthodes de protection et de gestion des forêts du département des Alpes-Maritimes ; évolution de la législation (de 1716, création du premier corps de pompiers, au PPR (Plan de Prévention des Risques))

3^{ème} Partie

Méthodologie, analyse du risque feu de forêt et identification des zones incendiées à partir de la télédétection : présentation et application dans le bassin versant du Paillon

Chapitre V : Traitements statistiques, géométriques et analyse diachronique des photographies aériennes et d'une image satellitale. Utilisation des différents logiciels pour la mise en place d'un SIG

Chapitre VI : Evaluation et cartographie des incendies dans les Alpes-Maritimes, dynamique paysagère et évolution du risque dans le bassin versant du Paillon

Conclusion générale

Références bibliographiques

Tables des figures, des tableaux et des photos

Annexes

Table des matières

Introduction générale.....	19
1- Enjeux environnementaux, socio-économiques et humains : les conséquences du feu sur les milieux	21
1-1-Enjeux socio-économiques : un risque dangereux, imprévisible, pouvant entraîner à tout moment de lourdes pertes	22
1-2-Enjeux environnementaux : de la dégradation d'une biodiversité riche et rare à un écosystème pauvre.....	23
1-3-Enjeux humains : le feu, corollaire de la mort.....	24
2-Problématique, hypothèses et thèses	25
3-Principes de la démarche méthodologique : deux types d'approches retenues, historique et contemporaine	26
3-1-Approche historique	27
3-2-Approche contemporaine.....	27
4-Articulation du document : présentation de l'organisation de la thèse.....	30
Chapitre I : Insertion de la composante «étude du feu dans la forêt méditerranéenne», modifications physiques et conséquences biologiques	41
1-Description des types de végétations: caractères physiologiques et floristiques.....	42
2-Evolution du patrimoine forestier	44
2-1-Causes de la déforestation	44
2-2-Observation et avenir écologique de la zone forestière; sa pérennité.....	45
2-3-Anthropisation et incidences sur les milieux naturels	46
3-Conséquences du feu sur les milieux naturels	49
3-1-Influence directe des incendies sur les grandes séries dynamiques.....	53
3-2-Reconstitution de la végétation après incendie dans les écosystèmes fermés.....	54
4-Fonctions de la forêt : parcours des troupeaux, fixation des terres et régularisation du régime des eaux.....	59
4-1-Parcours des troupeaux, action du pâturage sur la forêt	59
4-2-Fixation des terres sur les pentes. Rôle de la végétation	61
4-3-Régularisation du régime des eaux.....	61
5-Chronique des grands incendies en région méditerranéenne française	63
6- Feux de forêt dans le sud de l'Europe.....	67
7-Conclusion du premier chapitre	71

Chapitre II : Analyse spatiale (géographie) et écologie du milieu d'étude : bassin versant du Paillon, Nice, Alpes-Maritimes	75
1-Situation géographique du bassin versant du Paillon Nice	75
2-Caractéristiques physiques du bassin versant	81
2-1-Topographie, un relief escarpé	81
2-2-Principales structures géologiques du bassin versant	82
2-3-Hydrogéologie: caractères géomorphologiques des sous bassins versant du Paillon	83
3-Etude climatique de la région : les différents paramètres intervenant dans l'éclosion et la propagation du feu.....	85
3-1-Rayonnement et insolation : clarté du ciel et luminosité de l'atmosphère, les attributs du climat méditerranéen, constituent sans doute l'image la plus signifiante du département, un facteur de dessèchement des végétaux et de propagation du feu	85
3-2-Températures: action directe sur l'inflammabilité du combustible	86
3-3-Gel, un faible impact	87
3-4-Précipitations: un régime de pluies méditerranéen, période hivernale froide et pluvieuse, période estivale chaude	88
3-5-Enneigement important dans les étages supérieurs	90
3-6-Vents : fréquence des vents secs et sécheresse de l'été, facteurs de propagation du feu.....	91
3-7-Synthèse des principaux facteurs climatiques : le climat est certainement un puissant facteur d'unité de l'espace régional	91
3-7-1-Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	91
3-7-2-Quotient pluviométrique d'Emberger	93
4-Répartition de la couverture végétale dans le département des Alpes-Maritimes	95
5-Environnement socio économique : Après l'exode rural, la forêt est aujourd'hui de plus en plus un espace ludique (ou de détente) et un cadre de vie pour les citoyens	97
5-1-Changes de la végétation depuis 40 ans	97
5-1-1-Causes de la régression et progression de la couverture végétale.....	98
5-1-2-Le feu, véritable acteur socio économique.....	100
5-2-Répartition de la population résidente: évolution de l'occupation du sol, accroissement de l'urbanisation	102
5-3-Tourisme dans les Alpes-Maritimes: la Côte d'Azur un lieu très recherché.....	104
6-Historique des incendies de forêts dans le département des Alpes-Maritimes.....	105
7-Conclusion du chapitre II.....	106

Chapitre III : Caractéristiques de l'aléa feu de forêt : étude physico-chimique de l'élément, ses causes et son comportement.....	113
1-Types de végétations et climats: impacts naturels	113
2-Description des mécanismes d'éclosion des incendies	114
2-1-Teneur en eau.....	116
2-2-Matière sèche.....	Erreur ! Signet non défini.
2-3-Paramètres météorologiques.....	117
3-Origine des incendies.....	118
3-1-Causes naturelles	120
3-2-Causes humaines: impacts anthropiques	121
4-Différentes étapes dans la propagation des incendies.....	122
4-1-Conduction.....	123
4-2-Rayonnement thermique.....	123
4-3-Convection.....	124
5-Types et modes de propagation du feu	126
5-1-Facteurs naturels de propagation	129
5-1-1-Structure et composition de la végétation	129
5-1-2-Rôle du vent dans la propagation du feu.....	130
5-1-3-Relief et exposition des versants : les alliés du feu	133
6-Conclusion du chapitre III	133
Chapitre IV : Méthodes de protection et de gestion des forêts du département des Alpes-Maritimes ; évolution de la législation (de 1716, création du premier corps de pompiers, au PPR (Plan de Prévention des Risques).....	137
1-Relation entre prévention et lutte.....	138
2-Traitement des espaces à risques : importance de l'échelle départementale	139
2-1-Forêts classées : zones à équiper en priorité.....	139
3-Volonté de mise en place d'une politique de prévention par les différents acteurs.....	144
3-1-Défense des forêts contre les incendies en France : un puzzle souvent remanié....	145
4-Résorption des causes de feux de forêt.....	149
4-1-Décharges sauvages.....	149
5-Prise en compte de l'aménagement et de la gestion de l'espace.....	149
5-1-Risque essentiellement urbain et non forestier	149
5-1-1-Impact de l'accroissement urbanistique sur les départs de feux	151
5-1-2-Limiter les effets de l'urbanisation.....	152

5-1-3-Instruments de planification et de gestion de l'urbanisme.....	154
5-2-Brûlage dirigé	156
5-3-Conception de base des débroussailllements : réduction de la masse combustible.	158
5-3-1-Protection rapprochée : écran de largeur de 50 à 100 m	158
5-3-2-Entretien régulier de la végétation forestière au-delà de l'écran débroussaillé	161
6-Comment éviter les mises à feu : action à la source	162
7-Information préventive (du public): les mesures spécifiques de prévention des risques	164
8-Répartition des centres de secours : d'une logique forestière à une logique urbaine	165
8-1-Mesures de protection des forêts : de l'administration aux propriétaires.....	168
8-2-Réseaux de surveillances des massifs forestiers.....	171
9-Equipements des massifs forestiers DFCI : construire et gérer les différents équipements pour la lutte.....	172
9-1-Pistes DFCI.....	172
9-2-L'eau au cœur d'une stratégie globale de la DFCI.....	174
9-2-1-Points d'eau : une large panoplie d'équipements traditionnels.....	174
9-2-2-Système spécifique de brumisation	176
9-2-3- Système spécifique d'aspersion	176
10-Mise en place des Plans de Prévention des risques d'incendie de forêt PPR: un outil spécifique de prévention.....	177
10-1-Prescrire un PPR : Pourquoi et sur quels territoires ?.....	178
10-2-Contraintes pour les collectivités locales et impacts sur la population	179
10-3-Renforcement des dispositifs de lutte contre les incendies de forêt, après la canicule de 2003	180
11-Conclusion du chapitre VI	181
Chapitre V : Traitements statistiques, géométriques et analyse diachronique des photographies aériennes et d'une image satellitale. Utilisation des différents logiciels pour la mise en place d'un SIG	189
1-Choix de la zone géographique d'étude.....	189
2-Elaboration d'une base de données et les supports techniques utilisés	190
3-Définitions et aperçus des outils utilisés.....	194
3-1-Systèmes d'informations géographiques (SIG) et cartographie.....	194
3-1-1-Le SIG en théorie	194
3-2-Quelques concepts de base en « mode image » et « mode objets »	196
3-2-1-Mode vecteur et raster	196

4-Analyse statistique des données recueillies	197
4-1-Données en relation avec le temps	198
4-2-Données en relation avec le lieu	198
4-3-Données en relation avec les temps d'intervention	198
4-4-Données en relation avec la végétation brûlée	199
4-5-Données en relation avec les causes d'incendie	199
4-6-Données en relation avec les conditions météorologiques	199
4-7-Analyse des feux particuliers.....	200
4-8-Analyse factorielle de correspondance A.F.C.	200
5-Matériels utilisés sur le terrain et dans le laboratoire sur ordinateur	200
5-1-Cartes topographique, géologique et de végétation avec CORINE Land Cover....	201
5-2-Global Positioning System (Système de positionnement par satellite)	202
5-3-Modèle Numérique de Terrain : Création d'un MNT	204
5-4-Photographies aériennes : photos en noir et blanc de 1955, 1977 et 1990	206
6-Les étapes de redressement et les différentes caractéristiques des photos aériennes	208
6-1-Présentation des clichés	208
6-2-Redressement de photographies aériennes ; phénomènes de distorsion d'images .	209
6-3-Assemblage des orthophotoplans : le mosaïquage	215
7-Etapes pour représenter cartographiquement chaque espace étudié	216
7-1-Géoréférencement.....	216
7-2-Création de tables	217
7-3-Digitalisation	217
8-Photo-interprétation : caractéristiques physiques et biologiques des objets.....	218
8-1-Présentation des variables : Interprétation visuelle et sur écran des photographies et des images	219
8-1-1-Lignes et segments de droites.....	221
8-1-1-1-Variables « routes »	221
8-1-1-2-Hydrographie : variable « eau ».....	222
8-1-2-Surfaces fermées	223
8-1-2-1-Variable « espace urbanisé ».....	224
8-1-2-2-Variable « végétation arborée et arbustive ».....	225
8-1-2-3-Variable «cultivées et herbacées».....	227
8-1-2-4-Variable « feu» et « reprise de la végétation après incendie ».....	228
9-Traitement et analyse de l'image satellitale Spot 2	228

9-1-Rappel rapide du mode d'acquisition de l'image Spot et de ses caractéristiques ..	229
9-2-Traitement des données à but cartographique : classification et Analyse en Composantes Principales ACP	233
9-2-1-Aperçu et choix d'utilisation d'une des méthodes de classification	233
9-2-2-Méthode de création des cartes d'occupation du sol par classification supervisée avec le logiciel Idrisi	235
9-2-3-Principe, importance et but de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) d'une image SPOT	240
9-2-3-1-Traitement d'image : analyse en composante principale d'une image multispectrale	240
10- Simulation des feux de forêt : pour une meilleure compréhension du phénomène, application au bassin versant du Paillon	242
10-1-Modèles et simulations de propagation de feux existants	243
10-2-Application de ces modèles, par les chercheurs, selon les différentes analyses retenues.....	244
10-3-Méthodologie de la simulation de la propagation des incendies de forêt avec le modèle Prométhéus et son application au bassin versant du Paillon	246
10-3-1-Cheminement et organisation des données dans un SIG, du Modèle Numérique du Terrain et de la végétation à Prométhéus	246
11-Limites et critiques de certaines méthodes employées	253
12-Conclusion du chapitre V.....	254
Chapitre VI : Evaluation et cartographie des incendies dans les Alpes-Maritimes, dynamique paysagère et évolution du risque dans le bassin versant du Paillon, simulation du phénomène feu.....	259
A- Analyse statistique et cartographique des feux de forêts et périurbains dans le département des Alpes-Maritimes.....	259
1-Aperçu des incendies, en nombre, dans les départements méditerranéens français	260
2-Evaluation de l'aléa feu dans le département des Alpes-Maritimes	263
2-1-Probabilité d'occurrence temporelle : étude du phénomène éclosion du feu dans le département des Alpes-Maritimes en fonction du temps	264
2-1-1-Evolution annuelle du nombre d'incendies de forêt enregistrés dans les Alpes-Maritimes	264
2-1-2-Variations du nombre de feux éclos en fonction des mois de l'année	266

2-1-2-1-Evolution des incendies en fonction des précipitations et des températures	269
2-1-2-2-Comparaison des feux d'hiver et d'été dans les communes des Alpes-Maritimes : influence de la situation géographique sur les feux d'été et les feux d'hiver	270
2-1-3-Répartition des éclosions de départs de feux enregistrées selon les heures de jour comme de nuit	273
2-2-Probabilité d'occurrence spatiale.....	274
2-2-1-Aléa d'éclosion : calcul de la probabilité qu'un feu se déclenche à un endroit donné	274
2-2-1-1-Nombre de feux de forêts éclos par an dans chaque commune	275
2-2-1-2-Fréquence des nombres de feux en corrélation avec les surfaces brûlées	277
2-2-1-3-Surface combustible par commune	278
2-2-1-4-Nombre de feux autres que sylvestres dans l'espace rural et périurbain des Alpes-Maritimes entre 1973 et 2003 : classement par types de dommages.....	280
2-2-1-4-1-Variation des feux périurbains de 1973 à 2003	281
2-2-1-4-2-Calcul du nombre total de feux dans l'espace périurbain ; répartition géographique par commune dans le département des Alpes-Maritimes.....	282
2-2-2-Aléa de propagation : probabilité qu'a un incendie de se propager après la moindre étincelle	283
2-2-2-1-Risque moyen annuel RMA.....	283
2-2-2-2-Surfaces totales parcourues par le feu par an pendant trois décennies dans les Alpes-Maritimes	284
2-2-2-3-Evolution de la répartition mensuelle des surfaces brûlées	285
2-2-2-4-Feux supérieurs à 100 hectares depuis 1973.....	289
2-2-2-5-Cartographies des surfaces brûlées par commune	292
2-3-Intensité potentielle du feu	294
2-3-1-Vitesse de propagation en m / s.....	297
2-3-1-1-Vitesse de propagation sans pente ni vent	297
2-3-1-2-Coefficient de pente et de vent.....	299
2-3-2-Biomasse combustible en kg / m ²	300
2-3-3-Pouvoir calorifique	301
3-Evolution de la connaissance des causes de départs de feux, dans les Alpes-Maritimes de 1973 à 2003	304

3-1-Nombre d'interventions des pompiers dans le département des Alpes-Maritimes sur les incendies de forêts et leurs impacts financiers en périodes estivales	310
4- Classification supervisée sur IDRISI	311
5-Analyse en composante principale : ACP.....	315
6-Conclusion de la partie du chapitre VI portant sur l'analyse statistique et cartographie des feux de forêts.....	318
B- Evolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du Paillon : étude diachronique par télédétection des trois années 1955, 1977 et 1990	319
1-Cartographie de chaque variable prise en considération, en relation étroite avec le phénomène risque incendie	320
1-1-Milieu urbanisé : évolution du rapport Homme / Milieu, constatée entre 1955, 1977 et 1990 dans la bassin versant du Paillon.....	322
1-1-1-De la périurbanisation.... à l'augmentation des risques.....	328
1-1-2-Intégration insuffisante du risque dans l'urbanisation	331
1-1-2-1-Distance de propagation du feu en surface plane.....	333
1-2-Parcellaire : représentation cartographique de la variable « végétation », milieux agricoles et milieux naturels.....	334
1-2-1-Structure spatiale « milieu agricole ».....	334
1-2-1-1-L'agriculture dans l'espace périurbain.....	336
1-2-2-Couvert végétal : de la strate herbacée à la strate arborée	338
1-2-3-Zones incendiées : évolution des milieux brûlés observés sur la mosaïque en 1955 par rapport à 1977 et 1990.....	343
2-Analyse factorielle de correspondance (A.F.C) des incendies de forêts dans les différentes communes du Paillon	348
2-1-Analyse globale	348
2-2-Interprétation des axes factoriels et discussion.....	351
2-2-1-Interprétation de l'axe factoriel 1	351
2-2-2-Interprétation de l'axe factoriel 2	352
2-2-3-Apport des facteurs de contributions dans l'analyse factorielle de correspondance.....	352
3- Conclusion de l'étude de l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du Paillon, Comment éviter le pire ?.....	353
C-Application du modèle Prométhéus à la simulation des feux de forêt, résultats et discussion	355

1-Eclosion des feux de forêt : de la mise à feu au déclenchement.....	356
2-Comportement du feu : Facteurs intervenant dans la propagation du feu	356
2-1-Teneur en humidité des combustibles	357
2-3-Effet du vent : facteur favorisant l'accélération de la propagation du feu	358
2-4-Effet de la pente, exposition	358
3-Contour du feu	359
4-Conclusion tirée de la simulation.....	361
Conclusion générale	365
Bibliographie	379
Annexes.....	409

Introduction générale

Introduction générale

Le feu est un élément difficilement contrôlable. Il constitue la première cause dans la dégradation forestière tant à l'échelle planétaire, locale que régionale. Il intervient pour beaucoup dans la modification de notre environnement. Ce phénomène n'est pas spécifique au bassin Méditerranéen, mais il est particulièrement important et sensible dans cette région. Dans le monde, chaque année, environs trois millions d'hectares d'espaces forestiers sont détruits par le feu volontairement ou accidentellement. Selon la FAO, de 1980 à 1990 chaque année 13,7 millions d'hectares de forêts ont disparu. De 1990 à 1995 la déforestation a touché 56,3 millions d'hectares de forêts. Les grands ennemis de la forêt sont outre le feu, les maladies, les pollutions, phénomènes surtout recensés dans les zones développées (LAVIEILLE, 2004). 2003, a été dans le monde une année dramatique pour les forêts. Elle a été une des pires dans l'histoire récente en termes de pertes en vies humaines et de dommages aux forêts et infrastructures, notamment aux habitations, routes, ponts et télécommunications. L'enregistrement des surfaces brûlées dans le monde en 2003 montre une augmentation substantielle soulignant si besoin est l'importance de l'étude de ce phénomène. En Fédération de Russie, 23,7 millions d'hectares de forêt ont été perdus, une zone presque aussi grande que le Royaume-Uni. Aux Etats Unis, quelques 2,8 millions d'hectares de forêts ont été détruits par les incendies. Le Canada a enregistré 2,6 millions d'hectares de surfaces brûlées. L'Australie a perdu plus de 60 millions d'hectares dans des incendies dont la moitié ont été causés par l'homme. L'Europe a aussi été fortement touchée par les feux de 2003. Le Portugal a perdu environ 417 000 hectares, soit une augmentation de 300 pour cent par rapport aux pertes moyennes pendant les deux dernières décennies. En France, le bilan est lourd : le feu a tué 10 personnes dont 4 sapeurs pompiers et parcouru plus de 73 000 hectares de formations forestières et subforestières. On relève pour la seule zone méditerranéenne, près de 62 000 ha brûlées et environs 3 500 éclosions (FAO, 2003). L'écosystème forestier méditerranéen constitue le type de végétation qui a le plus régressé, sous l'effet de ce phénomène. Le feu est facteur incident dans le façonnage du paysage depuis des millénaires. Quelques soient les causes, les feux auront laissé leurs traces dans le sol, le paysage, la flore et la faune. Des conditions climatiques rigoureuses comme la sécheresse, les orages et les vents violents règnent dans cette vaste région. De plus la caractéristique la plus connue de cette forêt est sans aucun doute son extrême combustibilité et sa forte sensibilité au feu.

C'est au cours de mes études universitaires, pendant mes cours d'ingénieur et de magister en agronomie que s'est imposée à moi l'importance de l'arbre. La prise de conscience fut progressive ; au hasard des sorties d'étude, j'ai pu voir, l'immensité du Sahara, constater l'étroitesse de cette bande de terre sur laquelle nous vivions à plus de 30 millions. De nombreuses questions se sont bousculées dans ma tête, dominées par le pourquoi ? Et hélas moins de comment eu égard à la situation dans laquelle j'étais, démunie de tout pouvoir d'intervention à quelque échelon que ce soit. Je pense souvent à la forêt de chêne liège *Quercus suber* L. et à ses singes magots *Macaca sylvanus* (Linnaeus, 1758), transformée progressivement en décharge publique, à ces forêts brûlées pour chasser les terroristes, à ces arbres vieilliss laissés à l'abandon par négligence, et à l'absence de politique sylvicole cohérente. Le sujet m'interpelle et m'intéresse au plus haut point. Ma pensée s'est portée sur le barrage vert qui aurait repoussé le désert et nous aurait donné tant d'espace ; ce que les Hollandais ont fait avec leurs Polders en gagnant sur la mer ou Monaco à moindre échelle en repoussant les limites du Rocher, nous aurions pu le faire sur la terre ferme grâce à l'arbre « poumon de l'Homme ». De là vient cet engouement pour tout ce qui ressortit à la végétation. Née dans un milieu montagnard arboré d'oliviers *Oléa europaea* L., de figuiers *Ficus carica* L., d'hêtres *Fagus sylvatica* L. et de chênes liège, je vois aujourd'hui avec tristesse dépérir ce patrimoine. Mon regard s'est reporté sur les Alpes-Maritimes sosie de mon milieu naturel et en particulier sur le versant du Paillon, photo de la vallée du Sébaou natale. Les travaux réalisés à travers le monde sur les incendies tous thèmes confondus concernent surtout les forêts et sont extrêmement nombreux AHLGREN (1974), KOMAREK (1974), LITTLE (1974), WEAVER (1974), RUNDEL (1981), ALEXANDER (1982), BIGOT, BROU YAO, DIEDHIOU et LAGANIER (1999) Les écosystèmes de type méditerranéen font l'objet d'assez nombreuses études : BISWELL (1974), DEBANO et CONRAD (1978), ALEXANDRIAN (1988), CHEVROU (1996) En plus de cette étude sur « les incendies de forêt », j'ai pu découvrir des méthodes qui m'étaient inconnues, les SIG (Système d'information géographique) et la télédétection satellitale (interprétation des images satellites) instruments utilisés à grande échelle.

L'ensemble de ces travaux montre que le feu bouleverse les différents compartiments de l'écosystème, leur fonctionnement, leurs interactions et provoque des effets tels que l'échauffement, la disparition du couvert végétal et l'apport de cendres. Le feu de forêt devient un risque quand, par sa fréquence ou son intensité élevée, il détériore la forêt et menace l'Homme et ses activités. La prise de conscience du risque n'apparaît qu'au cours du

20^{ème} siècle avec les transformations socio-économiques. L'abandon de différentes pratiques agricoles et pastorales ont conduit au développement de la biomasse combustible. On voit aussi une multiplication de zones urbanisées au contact des milieux naturels forestiers. Ce point est abordé tout au long de cette thèse, sachant que ces espaces imbriqués sont d'autant plus vulnérables à l'incendie que l'homme est responsable en grande partie des départs de feux. Ces forêts contribuent à la conservation des sols, au maintien des nappes phréatiques, à la régulation du climat et constituent un réservoir de biodiversité. L'avantage de prévoir un incendie et d'en analyser les conséquences écologiques, paysagères, économiques et humaines, spatio-temporelles sur de larges zones est très forte. De meilleures connaissances sur les relations entre la structure d'un paysage, les pratiques pastorales, la gestion des parcours et les interactions entre les activités forestières et agricoles sont nécessaires. Les différentes conséquences du feu sur la forêt tant sur le plan environnemental, économique, qu'humain seront citées avant d'aborder la problématique.

1- Enjeux environnementaux, socio-économiques et humains : les conséquences du feu sur les milieux

Les surfaces brûlées sont en constante augmentation depuis une trentaine d'années. Les conséquences en sont nombreuses : socio-économiques, diminution de la biodiversité, dégradation des sols, épisodes de pollution atmosphérique, influence sur le changement climatique (émission de gaz à effet de serre et d'aérosols), perturbation de la chimie stratosphérique, pluies acides et troposphériques. Les feux récurrents, ainsi que la fumée et la brume sèche qui y sont associées, ont de graves conséquences sur l'économie, l'environnement et la santé dans la région. Selon DAVIES et UNAM (1991) la fumée dégagée par les forêts en flammes peut réduire de façon notable l'activité photosynthétique.

L'enjeu de la protection du patrimoine naturel est d'une tout autre nature. La forêt est à la fois vecteur et victime du feu. En tant que vecteur, elle doit être équipée et délimitée pour protéger les biens et les personnes. En tant que victime, elle n'est défendue qu'en deuxième priorité. Or, l'enjeu premier de la lutte contre les incendies de forêts, la sécurité des biens et des personnes, ne donne lieu paradoxalement à aucune enquête statistique, à la différence de l'enjeu secondaire, la sécurité du patrimoine qui est très bien suivie, grâce notamment à l'enquête Prométhée.

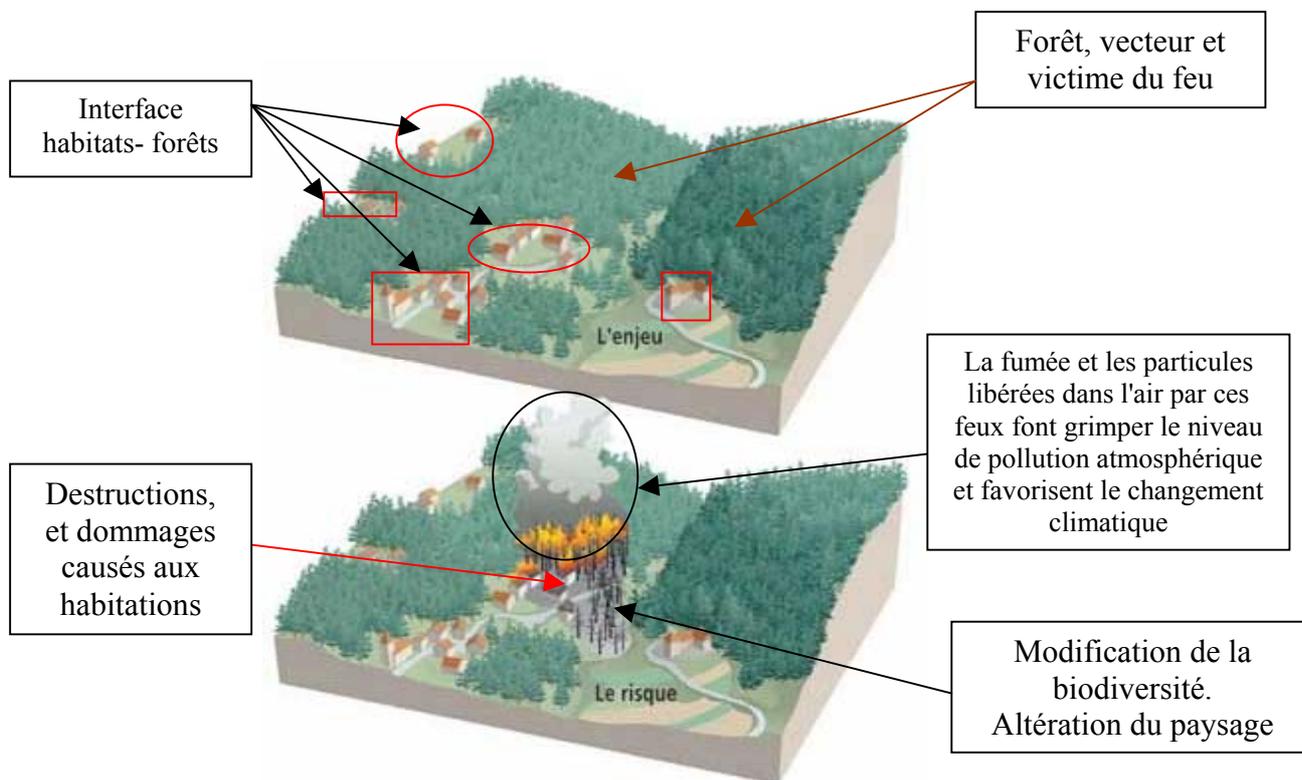


Fig. 1 : Les enjeux et le risque

Source : <http://www.rcfa-cfan.org>
 Modification : N. HESSAS, 2005

1-1-Enjeux socio-économiques : un risque dangereux, imprévisible, pouvant entraîner à tout moment de lourdes pertes

Dans la zone méditerranéenne, les espaces naturels et la forêt couvrent des surfaces importantes et représentent un enjeu fort dans la vie quotidienne et l'aménagement du territoire, même si la production ligneuse a une valeur économique limitée. D'une part, il existe une imbrication forte entre l'urbanisation, les espaces agricoles et forestiers. D'autre part, la fréquence et l'intensité des incendies font peser une menace permanente sur la sécurité publique et la qualité du cadre de vie. Chaque année, une estimation est faite des dégâts occasionnés par le feu sur les millions de tonnes de végétation brûlée, sur le découpage des fûts calcinés et sur le reboisement. Les destructions, dommages aux habitations, aux ouvrages, aux activités...coûtent très chers. Les pertes causées pendant la saison des feux découlent du bouleversement de l'activité économique et de la valeur du bois dans les forêts commerciales détruites. Les habitations, et plus particulièrement celles implantées dans les zones forestières, présentent une forte sensibilité aux feux. La destruction de zones d'activités économiques et

industrielles, ainsi que des réseaux de communications, entraîne généralement un coût important et des pertes d'exploitation.

Les décideurs publics, aux moyens financiers limités, sont confrontés à une protection à coût élevé pour la collectivité. La participation de l'État français se fait à travers le Ministère de l'Intérieur chargé de la lutte et celui de l'Agriculture chargé de la prévention. Bien que ce coût soit difficile à chiffrer, il peut être approché. On constate alors que l'évolution des politiques concernant les risques naturels a un coût non négligeable qui tend à s'accroître avec l'augmentation de la vulnérabilité. Les dépenses en matière de prévention sont évaluées en France à environ 305 millions d'Euros par an, tous risques confondus, dont 229 millions d'Euros d'actions techniques. Selon NATURE (2000) le coût de la lutte contre les incendies de forêt s'élève en 1998 dans les départements du Sud - Est de la France à 436 millions de francs soit environ 67 millions d'Euros et celui de la protection à 206 millions de francs (32 millions d'Euros). A ces sommes s'ajoutent les contributions de l'Union Européenne, des Régions et surtout des départements et des communes. Le département de l'Isère qui n'avait jamais été confronté à ce risque incendie de forêt, a dû en 2003 déboursier 2 940 066 Euros pour les 800 ha brûlés du Néron et du Mont Baret (RAMPOLLION, 2004).

En général, quand on considère un enjeu à risque, il est possible de réduire ce dernier par certaines mesures ou travaux. Mais plus on veut réduire le risque, plus grand sera l'investissement nécessaire. Il est clair que la limite fixée pour le décideur est fonction de la valeur des enjeux. Au-delà de cette limite le coût nécessaire à la diminution du risque est disproportionné par rapport à la valeur du bien à protéger.

1-2-Enjeux environnementaux : de la dégradation d'une biodiversité riche et rare à un écosystème pauvre

Une grande partie de l'écosystème forestier français méditerranéen, fragile et très riche dans sa biodiversité a été détruite. Chaque année, des milliers d'hectares sont brûlés entraînant la destruction d'une grande partie de la faune et de la flore. Les reptiles, les animaux rampants et les oisillons sont en général les plus touchés car ils ne peuvent fuir les flammes, comme les oiseaux et le gibier. On note également l'accélération du processus de disparition d'espèces végétales et animales rares. Par ailleurs, les sols s'en trouvent modifiés, voire stérilisés. Les conséquences sont déterminées par la quantité d'humidité qu'ils

contiennent et la présence de matières organiques. Ils peuvent être affectés par une perte d'éléments minéraux comme l'azote, mais le principal problème est la dégradation de la couverture végétale ; elle peut être à l'origine d'un accroissement du ruissellement, d'où un risque d'érosion important.

L'incendie a des effets immédiats (modification du paysage). On assiste également à plus long terme, à la reconstitution des biotopes. Ces forêts abritent des puits de carbone. Après incendie, celui-ci est libéré dans l'atmosphère, contribuant en partie au réchauffement de la planète. Enfin les paysages subissent d'importantes modifications, soit par l'absence de végétation, soit par la présence de nombreux arbres calcinés. Le reboisement permet de cicatrifier un paysage en reconstituant des masses vertes, mais les ambiances originelles des forêts sont très difficiles à restaurer. Des opérations de reboisement peuvent être envisagées dans une logique de gestion durable. Elles ne sont pas systématiques, mais permettent, de reconstituer les paysages en diminuant l'impact visuel, d'éviter une érosion des sols. Pour le reboisement, des peuplements moins combustibles par leur structure et leur composition sont privilégiés. Enfin, la dynamique de la biodiversité est fortement influencée par le régime de perturbations et par les facteurs limitant du contexte biogéographique

1-3-Enjeux humains : le feu, corollaire de la mort

L'enjeu de la protection des biens et des personnes mobilise en priorité les services chargés de la sécurité. La formidable mobilisation des moyens de lutte sur les lieux fréquentés ou habités est une réussite remarquable : si, malheureusement, quelques hommes chargés de la lutte ont été victimes d'incendies, aucune autre victime civile n'est à déplorer. Les plus touchés sont les sapeurs-pompiers qui payent parfois un lourd tribut à la protection des forêts et des populations exposées aux incendies.

La fumée et les particules libérées dans l'air par ces feux font grimper le niveau de pollution atmosphérique, menaçant ainsi la santé de la population. La situation est particulièrement difficile pour les nouveau-nés, les personnes âgées, celles souffrant d'asthme ou d'autres maladies respiratoires.

2-Problématique, hypothèses et thèses

La problématique ciblée est donc celle de la gestion du risque naturel « incendie de forêt » dans une société contemporaine en pleine mutation.

Le questionnement général de cette recherche peut être explicité comme suit :

Quel avenir peut-on entrevoir pour les milieux incendiés, face au retour des feux et surtout face à l'urbanisation ?

Dans ce contexte, notre objectif est de caractériser et d'analyser les transformations paysagères qui se sont opérées au cours des quarante cinq dernières années en utilisant des photographies aériennes et une image satellitale du bassin versant du Paillon, Nice, Alpes-Maritimes. Le travail se base dans un premier temps sur une étude approfondie de l'évaluation et de la cartographie des risques d'incendies de forêt suivi de la télédétection du bassin versant. Ce travail de recherche consiste à prendre en considération, à l'échelle d'un bassin versant, tout ce qu'impose un tel espace : le milieu avec ses modes d'occupation du sol, la population avec sa croissance et ses activités, les travaux des gestionnaires du site et leurs aménagements divers, et bien entendu les décisions des élus locaux qui ont des volontés mais également des obligations face à ce bassin versant du Paillon.

La gestion de l'évolution du milieu naturel est intimement liée à l'évolution de l'incendie. Cependant il reste à déterminer où se situe le véritable danger. Pour affiner cette problématique générale, nous la reformulerons en quatre sous questions.

- 1- L'Homme est-il la principale cause ou est-ce la nature qui pose de véritables problèmes ? Se pose t-il pour nous des questions d'ordre naturel ou anthropique ?**
- 2- Les SIG et la photographie aérienne peuvent-ils être une aide à la prise de décision pour les collectivités territoriales et autres responsables dans le cadre de la gestion du feu de forêt ?**
 - Comment la photographie aérienne peut elle contribuer à enrichir une base de données et être utilisée dans un SIG ?**
- 3- Comment réduire ce risque et éviter la récurrence ?**

Dans l'ensemble ce questionnement, qui constitue la problématique générale de cette recherche, peut se réduire à quatre hypothèses :

- 1- **un milieu incendié n'est pas toujours dégradé. Dans la majorité des cas la végétation se reconstitue et le milieu suit son évolution jusqu'au stade climax,**
- 2- **la dégradation d'un milieu est très souvent liée à l'activité de l'Homme (la majorité des incendies sont déclenchés par l'Homme) ;**
- 3- **il nous apparaît que le SIG est l'outil le mieux adapté pour la connaissance du milieu incendié et aide ultérieurement à prendre les décisions adéquates tant pour l'individu que pour le politique. C'est un instrument d'application, qui nourrit la réflexion grâce à la richesse de toutes les informations qu'il permet de recueillir (photographie aérienne, image satellitaire,..) ;**
- 4- **une simulation sur un milieu incendié permet d'acquérir une meilleure réflexion sur le phénomène et de réduire les incertitudes.**

3-Principes de la démarche méthodologique : deux types d'approches retenues, historique et contemporaine

La difficulté provient, dans le cadre de cette thèse, de la complexité liée au risque, car le risque « incendie de forêt » est un champ d'étude très vaste qui recoupe non seulement plusieurs disciplines mais implique des acteurs très différents. Notre approche est par conséquent interdisciplinaire. Nous avons appréhendé le risque « incendie de forêt » en nous référant aux sciences physiques et biologiques (connaissance du phénomène, de sa cause, de son évolution), aux aspects « ingénieurs » (mise en place d'outils et de techniques d'évaluation et de gestion du risque), au droit (étude des lois traitant des risques, la législation plus complexe dans ce domaine ne facilitant pas les prises de décisions), aux sciences de gestion (étude des comportements et des stratégies d'acteurs). Ces différentes approches forment le cadre théorique de l'étude des risques qu'il convient d'aborder afin de positionner notre recherche dans ce domaine. Deux types d'approches ont été privilégiées :

3-1-Approche historique

Cette approche permet entre autre de proposer une base de référence sur laquelle s'appuyer. Celle-ci se rapproche d'une démarche généalogique permettant de comprendre les origines et l'évolution d'un objet particulier. Il n'est pas évident d'appréhender un objet indépendamment de sa filiation. Que l'on parle de risque d'incendie de forêt, de production d'informations préventives ou de politiques publiques, ces différents objets s'expliquent dans un contexte particulier.

L'objectif est de mettre en évidence les processus, les mécanismes et les paradoxes qui s'attachent à ces différentes actions, quant à leur déroulement dans le temps.

3-2-Approche contemporaine

Nous allons explorer la construction des savoirs en considérant les apports des scientifiques et des experts. Les recherches dans le domaine se situent à deux niveaux. Nous avons distingué une approche scientifique concernant l'étude du comportement des feux (TRABAUD, 1989), la connaissance et la modélisation du phénomène (VALETTE, 1986 et LARINI, 1996) et une approche plus opérationnelle (ingénieur) qui a pour objet de mettre en œuvre les outils développés pour gérer les feux de forêt (FINNEY, 1998). Or la démarche d'évaluation du risque demande à être étudiée en vue d'une mise en œuvre réglementaire (PPR). L'emploi des approches hétérogènes peuvent nous conduire à des résultats divergents ou à des incompréhensions, qui elles mêmes pourraient entraîner des contentieux en cas de restriction du droit de construire, consécutive à l'application d'un PPR. Les canadiens et les américains sont dans ce domaine beaucoup plus avancés. L'arrivée de la télédétection, l'utilisation des photographies aériennes et surtout des satellites tels que, LANDSAT MSS et TM, SPOT 1 et 2 ont permis une percée dans la compréhension du phénomène notamment pour les travaux des chercheurs Nord Américains. L'outil est très récemment utilisé en Algérie avec le lancement du satellite ALSAT1 le 28 novembre 2002. Aux Etats Unis J.R. STEARNS (1986), B.P. SANDFORD (1986), S.R. KESSEL ET CATTELINO (1978) et P.J. CATTELINO (1978) et au Canada P.H. KOURTZ (1987 et 1977), P.A. MURTHA (1983) et A.J. SCOTT (1978), font partie des auteurs faisant référence dans ce domaine. Leurs travaux portent essentiellement sur les incendies dans la strate arborescente, en raison de l'ampleur de leurs massifs forestiers. Dans ces deux pays, certains auteurs se sont spécialisés dans la

gestion et la prévision du risque d'incendie ; leurs travaux s'appuient sur des images provenant des satellites NOAA AVHRR : W.A. MILLER et D.C. JOHNSTON (1985), M.C. KINLEY, E.P. CHINE et L.F. WERTH (1985) et LANDSAT TM : J. HARRISSON - ROGERS (1990). Outre la reconnaissance et l'analyse spectrale de zones incendiées en vue d'une cartographie ou d'un recensement, leurs travaux actuels tendent vers la modélisation du phénomène incendie par l'emploi de systèmes experts. Ces derniers intègrent des facteurs physiques tels que la topographie, des facteurs climatiques comme l'hygrométrie, la température et les facteurs phyto-écologiques dont le taux d'inflammabilité des essences (R.R. ROOT, S.C.F. STITT et G.S. WAGONNER 1985). En France, cette approche s'inscrit dans la continuité des travaux menés par le Pôle Cindyniques en s'appuyant sur l'expertise développée dans le domaine des risques d'incendie de forêt (WYBO, 1991 et GUARNIERI, 1995). Dans ce domaine, les connaissances ne sont pas encore stabilisées, peu de travaux ont été réalisés sur cet aspect particulier de l'évaluation du risque. Rares sont les chercheurs qui ont poussé leurs travaux jusqu'à une tentative de modélisation du phénomène incendie. Les principales études qui ont été réalisées à nos jours concernent la cartographie des incendies et la recherche d'une méthodologie de suivi annuel (A. HUSSON, 1983). Les données utilisées sont enregistrées par les satellites américains LANDSAT MSS (A. HUSSON, 1983) et TM (A. DAGORNE et A. DAUPHINE, 1990). Peu d'applications sont réalisées à partir du satellite SPOT. Les auteurs concernés par ce sujet de recherche justifient l'emploi du satellite LANDSAT plutôt que SPOT, par son nombre plus important de canaux, rendant ainsi plus précises les analyses spectrales (LENCO, 1990). Les premières sources d'informations ayant permis de lancer ses recherches par télédétection sur les côtes méditerranéennes (Nice, Aix-Marseille, Montpellier), à proximité des terrains d'étude sont faites par (M. LENCO, 1990), (A. DARGONE et M. LENCO, 1990), (A. DAGORNE et A. DAUPHINE, 1990).

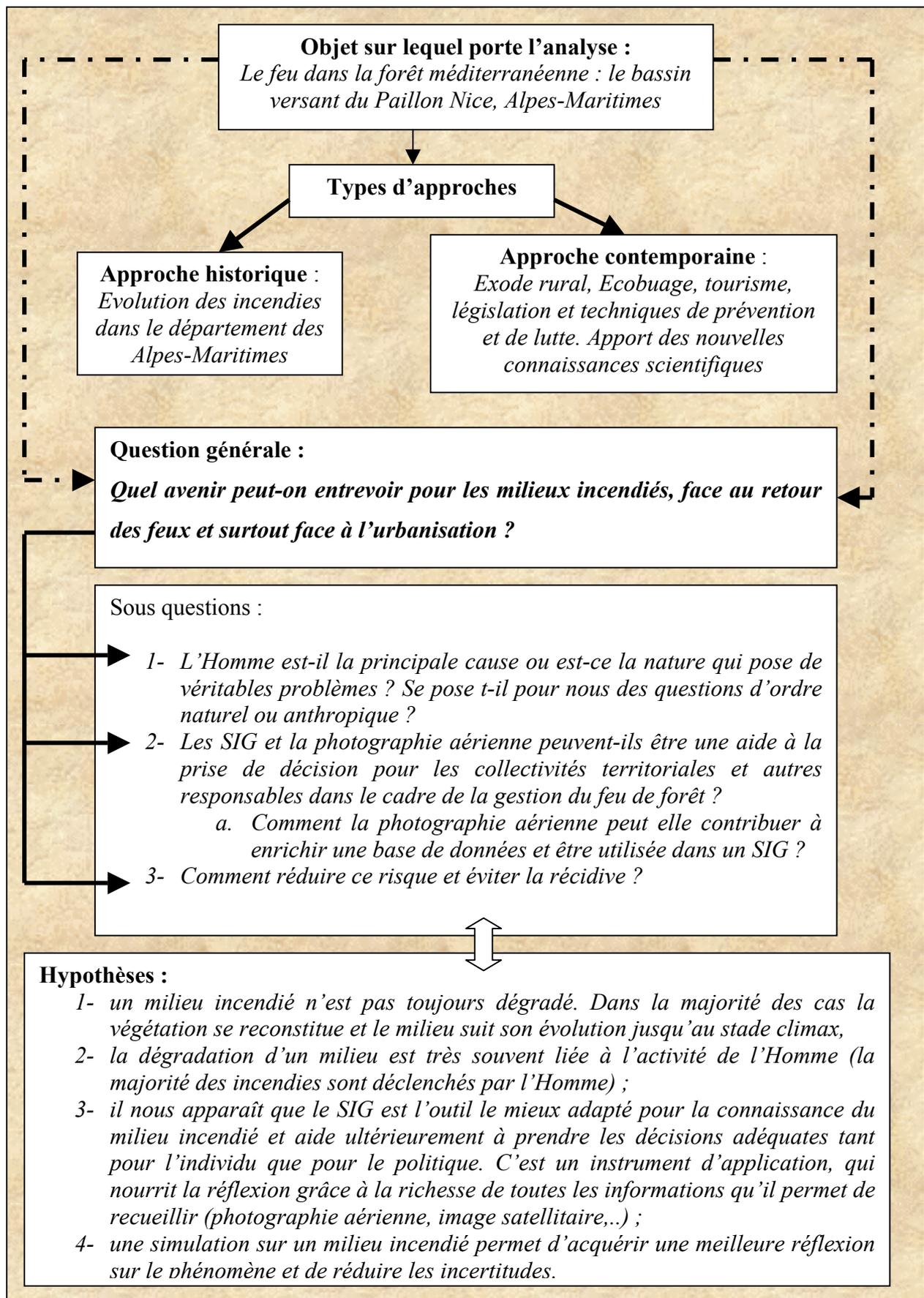


Fig. 2 : Schéma de présentation de la problématique et d'organisation de la recherche

N. HESSAS, 2005

4-Articulation du document : présentation de l'organisation de la thèse

Ce travail est articulé en trois parties, chacune étant subdivisée en deux chapitres.

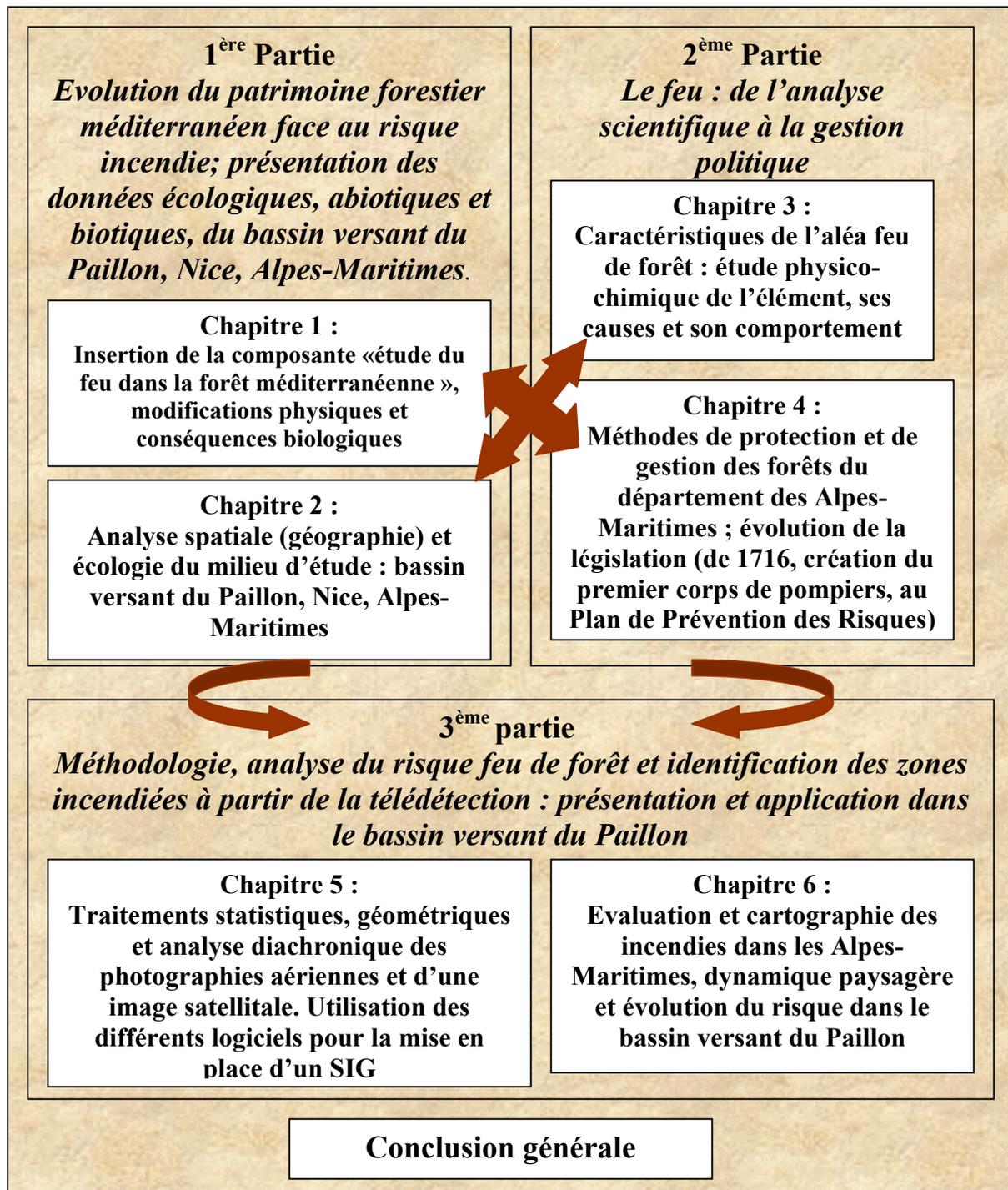


Fig. 3 : Présentation générale de l'organisation de la thèse

N. HESSAS, 2005

1^{ère} partie :

Evolution du patrimoine forestier méditerranéen face au risque incendie; présentation des données écologiques, abiotiques et biotiques, du bassin versant du Paillon, Nice, Alpes-Maritimes.

L'ensemble du bassin méditerranéen est affecté, sur 200 000 ha en moyenne chaque année, par des incendies (FAO, 2003). Leur nombre est en augmentation rapide au cours des années sèches, notamment dans les lieux touristiques. L'accroissement actuel de la fréquence des incendies est une cause de dégradation permanente des biomes continentaux méditerranéens. Depuis des siècles, des milliers d'hectares ont été détruits par les feux. La majorité des exemples cités tout le long de cette thèse concerne la France. Le cadre de cette étude ne permettant pas de mener une recherche exhaustive sur tous les pays méditerranéens concernés, j'ai choisi de la limiter à un seul pays la France. Le milieu retenu, le département des Alpes-Maritimes a subi fréquemment de graves incendies. Ce milieu d'étude situé dans le Sud Est de la France est décrit dans le deuxième chapitre.

L'étude des relations entre les incendies et l'évolution du milieu nécessite au préalable de dresser un état des lieux de la région étudiée. Il s'agira de s'interroger sur la validité des seuils écologiques en matière d'incendies de forêts : les critères traditionnellement utilisés pour définir la zone méditerranéenne (climat, végétation,...) rendent-ils compte de l'espace du feu ? Quels sont les principaux facteurs de risque ? Le danger se limite-t-il à l'été et à la sécheresse qui l'accompagne ? Pour répondre à ces interrogations je m'efforcerai de mettre en parallèle, seuils écologiques et statistiques sur les incendies dans les Alpes-Maritimes.

Le premier chapitre traite de l'approche bibliographique (tous supports confondus : articles spécialisés, livres, guides,...) qui nous a permis de prendre connaissance des diverses études pouvant exister sur les incendies de forêt dans les milieux méditerranéens. Toutefois la relecture des différents travaux pluridisciplinaires associant recherche fondamentale et recherche appliquée met en évidence que « les dynamiques associées au processus sont souvent beaucoup plus complexes que la seule analyse des simples processus élémentaires ne le laisse entendre » (VEYRET, 1998). Ce chapitre, en dressant un bilan des travaux produits antérieurement sur les incendies de forêt des milieux méditerranéens, aboutit au constat de la nécessité d'aborder ce processus (physique) avec d'autres concepts et méthodologies. Il

positionne ainsi logiquement les effets du feu en tant qu'expression du fonctionnement d'un système complexe où interagissent des facteurs physiques et anthropiques.

Le deuxième chapitre concerne la description du milieu d'étude proprement dit. Le choix du site permet de s'interroger sur le pourquoi de ce milieu montagnard et maritime. Ce choix s'explique par sa vulnérabilité aux incendies. Après la Haute-Corse, le département des Alpes-Maritimes est le département français le plus sensible aux risques incendies en raison de son climat, de son relief montagneux, et de ses enjeux touristiques, urbanistiques et économiques. C'est afin de répondre à cette question que j'ai choisi, dans ce milieu, de prêter tout particulièrement attention à la possibilité d'envisager tous types de caractères d'ordre physique et biotique. Les facteurs écologiques (biotiques et abiotiques) et démographiques sont traités. Les données sont exploitées, puis explicitées sous forme de cartes, de graphes et de tableaux.

2^{ème} Partie :

Le feu : de l'analyse scientifique à la gestion politique

La complexité du phénomène en jeu se traduit par de nombreuses incertitudes liées au manque d'informations et à l'insuffisance des connaissances disponibles dans ce domaine. Pour toute étude d'un risque, la non compréhension de son mécanisme, complique le processus de décision conduisant au choix d'une stratégie de prévention appropriée. L'apport des sciences est important pour la prise de décision. Mais il ne peut en aucun cas suffire à lui seul pour légitimer les engagements des pouvoirs publics. Les connaissances scientifiques et techniques ne sont pas toujours suffisantes pour éclairer cette décision. Comme le montre BARTHE (1997) dans le cadre du retraitement des déchets nucléaires, les décisions ne sont plus de l'ordre des scientifiques et des experts seulement. En effet « les politiques peuvent-ils se réfugier derrière la science ? » (LEFEVRE, 1991). Les chapitres deux (étude du milieu) et trois (traité du mécanisme du feu) nous sont d'une grande utilité afin d'analyser clairement le risque incendie et la façon dont la gestion est appliquée par les politiques à travers le temps, surtout depuis que ce risque a pris de l'ampleur.

Le chapitre trois détaille le comportement physico chimique du feu avec ses deux cotés adjacents, le combustible et l'oxygène. Nous proposons un corpus de connaissances permettant de synthétiser la réaction du feu sur la végétation. Le feu découvert par l'homme dont il croyait maîtriser le génie est tellement complexe qu'après de multiples études qui lui ont été consacrées il demeure toujours une énigme. Les différents processus de transport de chaleur émise par la combustion auxquels s'ajoutent les modes et les types de propagation, la variabilité de la vitesse de propagation du feu, le rôle du vent, le relief et l'exposition des versants sont détaillés dans ce chapitre. Une partie importante est consacrée aux origines des incendies. De nombreux facteurs contribuent dans une certaine mesure à leur développement. D'ailleurs après tout incendie, la question posée est : quelle est son origine ?

Le Chapitre quatre s'attache à montrer en détail la gestion du risque incendie de forêt dans le département des Alpes-Maritimes, par les politiques, et son évolution depuis plusieurs années. IL résume les moyens techniques et réglementaires mis en œuvre pour protéger les vies, les installations humaines et le milieu naturel. Son objectif est de couvrir de façon exhaustive l'ensemble de la problématique liée au phénomène incendie de forêt nécessaire à l'élaboration d'un PPR (Plan de Prévention des Risques), de montrer la place des PPR dans le dispositif réglementaire actuel. Nous essayerons avec nos résultats cartographiques du bassin versant du Paillon, de définir si possible de meilleures règles de gestion, d'urbanisation et de construction qui s'appliqueraient au bâti existant et futur et d'y prescrire des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à prendre par les particuliers et les collectivités territoriales sur tout le département. Sachant que les PPR reposent sur la cartographie des risques, traduite ensuite en cartographie réglementaire (zonage réglementaire).

Dans ce chapitre, nous tenterons d'explicitier la difficulté née du fait que de multiples acteurs sont impliqués dans la lutte contre les incendies de forêts en analysant la manière dont se répartissent les conséquences – ou plus souvent comment elles se chevauchent – tant administrativement que spatialement. Ceci ne pourra bien sûr se faire qu'en étroite relation avec une étude de la législation, dont on peut déjà remarquer qu'elle brille elle aussi par sa complexité plus que par la rigueur avec laquelle elle est appliquée. On examine, dans la région étudiée, les mesures concrètement mises en œuvre et les actions d'organisation des moyens de prévention et de prévision de l'incendie ; quels sont les facteurs de délimitation

des zones à risques, de localisation des aménagements ou encore de surveillance des forêts ? Cette démarche permet de constater que la distribution des compétences est incontestablement à l'origine de disparités et de discontinuités spatiales.

3^{ème} partie :

Méthodologie, analyse du risque feu de forêt et identification des zones incendiées à partir de la télédétection : présentation et application dans le bassin versant du Paillon

L'étude et l'analyse des risques naturels comme les « incendies de forêt » comportent des difficultés inhérentes à leur complexité. Dans la réalité, les difficultés rencontrées proviennent des interactions entre l'Homme et la nature, qui accroissent les obstacles à les reproduire et à les analyser scientifiquement.

Evaluer un risque, c'est chercher à le connaître, sans savoir quand le phénomène se produira. Le prévoir c'est chercher à déterminer les périodes pendant lesquelles il se produira. A partir de ces définitions, une méthodologie est dressée dans le chapitre cinq. Le chapitre six annonce les résultats de notre travail.

Le Chapitre cinq présente notre contribution méthodologique. Plusieurs méthodes utilisées sont présentées, chacune reliée à l'autre pour aboutir à des résultats complets. Notre première démarche consiste à localiser et à détecter les risques. Ce besoin reste encore, à l'heure actuelle, grandement perfectible. Afin de connaître l'impact de ces feux sur les milieux, il est nécessaire de déterminer leur répartition spatiale et temporelle. De très larges étendues sont concernées et la télédétection qu'elle soit par photographie aérienne ou satellitaire est le seul moyen d'appréhender le phénomène à une aussi grande échelle. Soixante dix photographies aériennes réparties en trois séries sont orthorectifiées et mises en mosaïque. L'essentiel de cette étude est d'effectuer un travail de cartographie informatique afin de mettre en évidence les évolutions qui ont marqué la vallée au cours de ces cinquante dernières années. Il s'agit de constituer, par le biais d'un SIG (Système d'information Géographique) qui est « un ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision » DIDIER, 1990), une

représentation cartographique de tout le bassin versant. Les différentes étapes, dans la mise en place d'un SIG, que nous appliquerons au bassin versant du Paillon, sont représentées. L'approche expérimentale que nous présenterons ici fait partie d'un programme d'études pluridisciplinaires destinées à préciser les paramètres des incendies et à quantifier leurs impacts sur le sol, la végétation et la faune. La multiplication des classifications faites à partir de l'image satellitaire, devant les difficultés rencontrées pour les définir, les délimiter, les inventorier et les classer, en un mot les caractériser, prouve l'intérêt de quantités de disciplines par rapport à ce risque. La seconde démarche a pour but l'évaluation et la cartographie du risque incendie. Des méthodes statistiques sont citées afin de pouvoir comparer les anciens incendies aux nouveaux et une évaluation cartographique du risque feux de forêts à l'échelle départementale a été menée. Cette cartographie va constituer un support pour permettre d'identifier les zones prioritaires en matière de risque et ainsi informer les élus des dangers encourus sur leurs communes pour qu'ils puissent prendre les mesures de prévention et de protection qui s'imposent. Le travail porte aussi sur les variations spatio-temporelles de la saison des feux qui sont mises en relation avec la phénologie de la végétation d'une part et d'autre part les précipitations et la sécheresse. Nous comparerons les différentes causes des incendies de printemps et d'été. Pour réaliser toutes ces adaptations à l'échelle de la commune et permettre de déterminer les éléments du risque, comme déjà dit, il sera toujours nécessaire d'une part d'avoir une bonne connaissance du phénomène feu de forêt lui-même et des différents éléments qui le composent et d'autre part, d'explicitier d'une manière approfondie la méthode d'évaluation et de cartographie du risque à l'échelle départementale.

Les barrières méthodologiques rencontrées lors de notre étude résident dans l'événement lui-même qui est aléatoire. Selon TORTEROTOT (1993) elles résident également dans les comportements humains qui vont influencer les dommages (occupation de l'espace, protection ...) variables et diversement connus. L'évaluation du risque est, par conséquent, entachée d'incertitudes. Il est difficile de prévoir avec précision dans le temps ou dans l'espace le déclenchement du phénomène, son déroulement et enfin ses impacts sur les populations exposées. Pour cela nous avons opté pour une simulation.

Le Chapitre six expose tous les résultats de notre méthodologie. Il s'agit de présenter avec les histogrammes, tableaux et cartes, l'étude des risques d'incendie de forêt dans une

perspective historique afin d'apprécier aujourd'hui l'exposition de la société à ce risque. Ce chapitre est l'occasion d'effectuer un certain nombre de mises au point sur les incendies à travers l'étude du département des Alpes-Maritimes. Ce travail débute par une analyse des statistiques annuelles regroupant trente années d'incendies à l'échelle départementale ensuite communales sous - tendues par plusieurs questions : Quelles sont les fréquences des feux ? Quelles en sont les causes ? Les feux d'hivers et d'été sont- ils de même proportion ? La météorologie joue t-elle un rôle dans le déclenchement et la propagation du feu ? Pourquoi l'été 2003 a été une vraie catastrophe ? L'approche historique sera l'occasion d'établir des estimations chiffrées de l'ampleur des feux de forêts depuis le début du 20^{ème} siècle et de montrer la relative stabilité à la fois des espaces et des temps du feu.

Le Système d'Information Géographique se révèle être à la fois un outil scientifique performant pour connaître et rendre compte de l'aléa mais aussi pour exprimer la vulnérabilité et pour déterminer des zonages que les aménageurs, prescripteurs et décideurs intégreront dans leur démarche globale d'aménagements du territoire aux diverses échelles appropriées.

Enfin la conclusion pose un bilan sur le travail effectué. Seront également évoquées quelques pistes en matière de prospective.

1^{ère} partie

**Evolution du patrimoine forestier
méditerranéen face au risque
incendie ; présentation des données
écologiques, abiotiques et biotiques,
du bassin versant du paillon, Nice,
Alpes Maritimes**

Chapitre I

Insertion de la composante «étude du feu dans la forêt méditerranéenne», modifications physiques et conséquences biologiques

Chapitre I : Insertion de la composante «étude du feu dans la forêt méditerranéenne», modifications physiques et conséquences biologiques

La forêt méditerranéenne est vaste, variée et présente une grande diversité de communautés forestières instables et très sensibles aux perturbations (tels que les incendies). Ces peuplements sont éparpillés : en montagne, sur des îles, autant de territoires d'accès difficile. La forêt méditerranéenne désigne des forêts dispersées dont les flores totalement différentes ont entre elles de remarquables affinités écologiques (SEIGUE, 1987).

La délimitation de la forêt méditerranéenne peut être bioclimatique et phytogéographique. Quelques soient les critères retenus, ses limites sont imprécises. L'altitude, l'exposition et même des raisons qui tiennent au passé peuvent avoir provoqué des exfiltrations méditerranéennes, ou, inversement, des infiltrations dans son aire, d'essences de régions voisines.

L'utilisation de la végétation comme critère de définition du milieu méditerranéen a consisté tout d'abord à en caractériser les traits originaux puis à choisir des espèces emblématiques dont l'extension permet de fixer les limites de la région. La première et la plus connue de ces espèces est évidemment l'olivier, retenue par Flahault et reprise à des degrés divers notamment par Gaussen, Birot et Dresch ou Ozenda. Pour Flahault les caractéristiques de la végétation méditerranéenne tiennent surtout à la prédominance d'arbres et arbustes à feuilles persistantes, à la présence de plantes aromatiques et au nombre élevé de plantes annuelles et de géophytes. « Ces trois conditions résumées distinguent la région méditerranéenne. Quand l'une d'elles manque les autres disparaissent aussitôt » (DURAND et FLAHAULT, 1986).

Malgré la richesse de sa flore, il convient de souligner la pauvreté de la production ligneuse de la forêt méditerranéenne. Ces formations forestières sont souvent ravagées par des incendies. L'abondance du sous-bois et l'étendue des formations subforestières facilitent, en effet, la propagation du feu et les populations passent souvent pour s'accommoder de cette situation. Cependant dans certains secteurs les habitants sont très attentifs à le prévenir et à l'éteindre rapidement. Mais il n'en reste pas moins que les forêts du bassin méditerranéen comptent parmi les plus incendiées.

1-Description des types de végétations: caractères physiologiques et floristiques

On peut définir toute forêt comme une formation végétale ligneuse, ou écosystème, à prédominance d'arbres comportant en général un couvert relativement dense. Dans les pays méditerranéens, on rencontre souvent ce type de formation dont les arbres, mêmes adultes, y sont de faible hauteur; leurs troncs manquent de rectitude quand ils ne sont pas tortueux, et les broussailles sont abondantes (SEIGUE, 1987).

A côté de ces forêts on rencontre des surfaces importantes de formations broussailleuses basses qui sont parfois ouvertes, parfois fermées. On hésite à les appeler « forêts »:

- on les désigne sous le nom de maquis quand elles poussent sur des sols siliceux et sont fermées au point d'être parfois impénétrables;
- on leur donne le nom de garrigues quand elles poussent sur des sols calcaires et sont alors ouvertes.

Maquis et garrigues sont aussi désignés sous leur nom commun de formations subforestières. Ces formations sont très proches de forêts dont elles sont souvent la dégradation et dans lesquelles elles sont d'ailleurs étroitement imbriquées. Le passage d'un état à l'autre peut se faire progressivement et insensiblement, quand la forêt évolue, que ce soit vers la régression ou vers la reconstitution. Il peut se faire brutalement sous l'action d'un incendie, dans le sens de la dégradation. Dans ces conditions, la distinction entre forêt et formation subforestière est imprécise et fluctuante; d'ailleurs quand on parle et quand on traite des incendies de forêts, on confond les deux formations dans le même mot « forêt ». Cette situation est générale dans tout le bassin méditerranéen (SEIGUE, 1985).



Photo 1 : Exemple d'une forêt méditerranéenne « la forêt de Lucéram »
N. HESSAS, 2003

Selon FAURE (1991) en région méditerranéenne, on peut retrouver les principaux types de forêts denses qui existent en zones tempérées: futaies (feuillus, résineux ou mixtes), taillis sous futaie, taillis. Seuls les futaies de résineux et les taillis feuillus y sont fréquents. Beaucoup de futaies feuillues, qui potentiellement pourraient être bien plus vastes ont été détruites ou dégradées par l'action humaine. Quant aux taillis résineux, ils sont rares pour des raisons physiologiques : seulement un petit nombre de résineux peuvent rejeter des souches, comme les genévriers *Juniperus sp.* ou les thuyas de berberie *Tetraclinis articulata*. Il est difficile de se rendre compte de la spécificité de la morphogenèse en milieu méditerranéen tant il est rare de pouvoir observer des biocénoses à peu près intactes. Ce qu'il y a de sûr, c'est que les facteurs de déséquilibre sont très nombreux : gravité de la sécheresse, incendies de forêts, virulence des averses d'automne, coups de gel en hiver.

La flore méditerranéenne est dispersée et donne parfois même à penser qu'elle est relictuelle. Elle présente des caractères originaux que l'on ne trouve pas dans les grandes régions floristiques voisines. Mais cette originalité est faite d'un mélange complexe d'unité et de diversité. Cette forêt dans sa quasi-totalité, est soumise à des conditions climatiques méditerranéennes: des saisons à la fois chaudes et sèches la rendent particulièrement sensible aux incendies. Des hivers relativement doux même si parfois les coups de froid ne sont pas exclus. Une variabilité inter annuelle parfois importante est à souligner. Les précipitations y sont parfois abondantes mais très concentrées et tombent souvent sous forme d'averses

violentes. La végétation xérophile, souvent sempervirente, est caractérisée par l'abondance des ligneux, des feuilles petites et vernissées pour résister aux dures conditions de l'été.

2-Evolution du patrimoine forestier

2-1-Causes de la déforestation

Selon POLCHER et LAVAL (1994) in DESCROIX (2000) « *L'effet de la déforestation est un réchauffement du sol et une augmentation de la convergence d'humidité* ». Cet effet favorise le déclenchement du feu avec une intensité élevée, détruit les arbres avec leurs systèmes racinaires, entraîne une transformation du milieu et aboutit à une déforestation.



Photo 2 : Forêt de Lucéram après passage du feu, le 15 août 2003

N. HESSAS, 2003

Les débuts de la culture et de l'élevage qui ont affecté la forêt par le défrichage et le pâturage remontent seulement à 10 000 ans dans le Proche-Orient. Ces activités se sont étendues en Crète et en Grèce environ 6 000 ans avant J.-C et au bassin occidental de la Méditerranée vers 5 500 à 4 500 avant J.-C. L'homme devient alors un agriculteur itinérant, puis sédentaire ; il défriche et souvent il incendie pour cultiver et ouvrir la forêt à ses troupeaux.

C'est à cause de l'exploitation agro-sylvo-pastorale que la forêt s'est sérieusement dégradée. Ce type d'exploitation sera transmis de générations en générations. La période prospère 1838–1846, est présentée comme l'âge d'or de «l'autrefois» équilibre homme-nature, forêt aménagée, cultures rationnelles et fécondes (FAURE, 1991). Malgré la difficulté à rassembler des données statistiques fiables sur les surfaces forestières passées, CINOTTI (1996) a montré que le taux minimum de boisement en France avait sans doute été atteint au début du XIX^{ème} siècle. Ce plancher correspond à 9,2 (+ / -0,3) millions d'hectares (Corse, Savoie et Comté de Nice compris), soit 17 % du territoire actuel. Elle est éventuellement de 14,9 Millions d'hectare soit une progression de l'ordre de 6 millions d'hectare en 170 ans (plus de 65 % environ).

Les utilisations traditionnelles de la forêt se poursuivent et se développent jusque vers 1860. L'équilibre de la société villageoise en dépend: les plus nombreux (petits propriétaires, ouvriers sans terre, artisans) y trouvent les indispensables ressources complémentaires prélevées dans le cadre des usages en vigueur : terres agricoles (essarts, écobuages), engrais (feuilles, rameaux), litière et nourriture du bétail, bois d'ouvriers (outils, réparations diverses, charpente), combustible (chauffage, charbon de bois, fours à chaux, tuileries, ...) produits de la chasse et de cueillette enfin (...). Ces usages, le code forestier de 1827 va très progressivement les maîtriser et le garde forestier deviendra, pour un temps, l'ennemi du petit paysan. Mais le nouveau code n'interdit pas aux troupeaux de parcourir la quasi-totalité des forêts. Les feux pastoraux favorisent la repousse de l'herbe, mais du même coup, débroussaillent là où les bêtes ne repassent pas régulièrement. Toute reconstitution spontanée de la forêt devient difficile.

2-2-Observation et avenir écologique de la zone forestière; sa pérennité

Dans la plupart des pays, la forêt occupe une partie importante du territoire. Elle rend des services nombreux et variés par leur nature ainsi que par la diversité des bénéficiaires. Mais elle est fragile. Ces caractères ont imposé des règles de gestion « sylviculture » souvent assez semblables d'un pays à l'autre.

Pour assurer la pérennité de la forêt nous sommes amenés à distinguer les forêts naturelles qui, en règle générale, se renouvellent d'elles-mêmes et les plantations d'essences introduites dont la régénération demande généralement des travaux de reboisement. En plus

des incendies, les arbres forestiers sont attaqués par des insectes parasites ou par des maladies dues à des champignons, des bactéries ou des virus.



Photo 3 : Régénération de la végétation d'un versant du Paillon après le feu de 1996.
N. HESSAS, 2003

L'urbanisation et les équipements collectifs ont aujourd'hui pris le relais de l'agriculture, et entrent à leur tour en concurrence avec la forêt. Dans l'esprit de beaucoup d'aménageurs, la forêt est trop souvent restée une réserve foncière dont on peut librement disposer pour les besoins de l'urbanisation, le développement des voies de communication, le passage des lignes électriques, des canalisations diverses, la création de plans d'eau artificiels. L'urbanisation est devenue une grande consommatrice d'espace. A la périphérie des villes, les espaces boisés sont recherchés par les promoteurs pour réaliser des lotissements de luxe (BECKER *et al.*, 1981).

2-3-Anthropisation et incidences sur les milieux naturels

Selon BLANCHI (2001) l'explosion démographique a débuté au 11^{ème} siècle se poursuit au 12^{ème} et 13^{ème} siècle avec pour conséquence une diminution des espaces forestiers. A cette époque, les fluctuations de la forêt sont ainsi liées au développement de la société. Les conditions de vie se détériorent à partir du 14^{ème} siècle (guerre de Cent ans, peste noire) et correspondent à une période de déclin et donc de reprise de la forêt. Au 16^{ème} siècle, la société est organisée selon un mode agropastoral. C'est à cette époque que commencent les

déboisements importants ; avec une période qui s'étend de 1550 à 1890 environ appelée le Petit Age Glaciaire, une période sensiblement plus froide qu'auparavant (LE ROY LADURIE, 1967) ; les défrichements se font autour des villes. Les déboisements continuent pendant le 17^{ème} et au 18^{ème} siècle ; le surpâturage devient prépondérant ce qui entraîne des problèmes d'érosion des sols. On constate au cours de ces deux siècles que le risque de feu qui était, somme toute, très important avant le 16^{ème} siècle est devenu quasiment nul. Depuis les risques d'inondation et d'éboulement ont considérablement augmenté, prenant le cas de 1830-1850 où surviennent de grands éboulements et de grandes crues : c'est une dernières poussées froides du petit Age glaciaire. Ceci est du à la surexploitation du bois qui est utilisé pour la construction des habitations, des navires, comme source d'énergie calorifique; de nombreuses industries l'utilisent, si bien qu'en France le manque de bois en région méditerranéenne vers la fin du 18^{ème} avait conduit les pouvoirs à éloigner les industries des abords des villes (SEIGUE, 1985). Mais, vers la fin du 19^{ème} siècle, une prise de conscience à travers l'action des gouvernements entraîne des opérations de reboisement pour les terres dégradées par l'agriculture, le développement urbain et l'industrialisation des terrains de montagne. En 1882, la deuxième loi sur la restauration des terrains de montagne conduit à procéder à des reboisements importants.

Tableau 1 : Evolution du sol français à travers le temps

Date	Populations de la France (millions d'habitants)	Surfaces Agricoles Utilisées (%)	Forêt (%)	Landes, friches, parcours (%)	Terrains urbanisés et infrastructures (%)	Improductif (eaux et rochers)
1000	8-10	14-15	26	12-14	/	2
1300	20-22	27	13	12-14	/	2
1450	10-12	16-17	22	12-14	/	2
1700	22.5	30	8-9	12	0,5	2
1827	30	31.5	7-8	12	0,5	2
1840	32	31.5	8.4	8	1	2
1862	35	34	9	6.5	1	2
1914	40	34	10,2	2.8	1,3	2
1999	56	31	15		4	2

Source : www.ifn.fr, 2000

A travers ce bref historique, apparaissent les relations entre l'aménagement et les risques. La situation actuelle aboutit à « un nouveau visage » du paysage rural français avec le développement de la forêt et de la friche qui représentent désormais 25 à 30 % du territoire. La progression de la friche, qui concerne autant les zones de plaine que de moyenne ou de haute montagne, résulte en grande partie de l'exode rural et de la déprise agricole observée en France au cours des dernières décennies. Le début du dépeuplement rural correspond à la fin de la première guerre mondiale avec l'abandon progressif des terres cultivées. Parallèlement, on observe l'accroissement des constructions dans les zones boisées, dû à la fois à l'extension des villes et villages mais aussi au désir des gens de se rapprocher de la nature. Cette situation que l'on retrouve généralement dans tous les pays du pourtour méditerranéen est particulière : les zones soumises à un risque de feu ne sont pas de grands espaces vierges de tous les aménagements, pour lesquels on pourrait prendre le parti de laisser brûler (débat actuel, sur la régénération de la forêt). L'espace est beaucoup plus hétérogène ; c'est une imbrication des zones présentant des enjeux divers à protéger (les biens et personnes, les forêts exploitées, les paysages).

Au 19^{ème} et 20^{ème} siècle, l'évolution de l'occupation humaine entraîne la réinstallation progressive de la forêt. Dès la fin du 19^{ème}, les archives mentionnent l'apparition de grands feux ; le risque d'incendie augmente au cours du 20^{ème} siècle pour devenir très important actuellement. En effet, depuis le début du 19^{ème} siècle, la forêt française a doublé de surface. Avec près de quinze millions d'hectares en métropole, elle retrouve aujourd'hui, la place qu'elle occupait dans le territoire à la fin du Moyen Age.

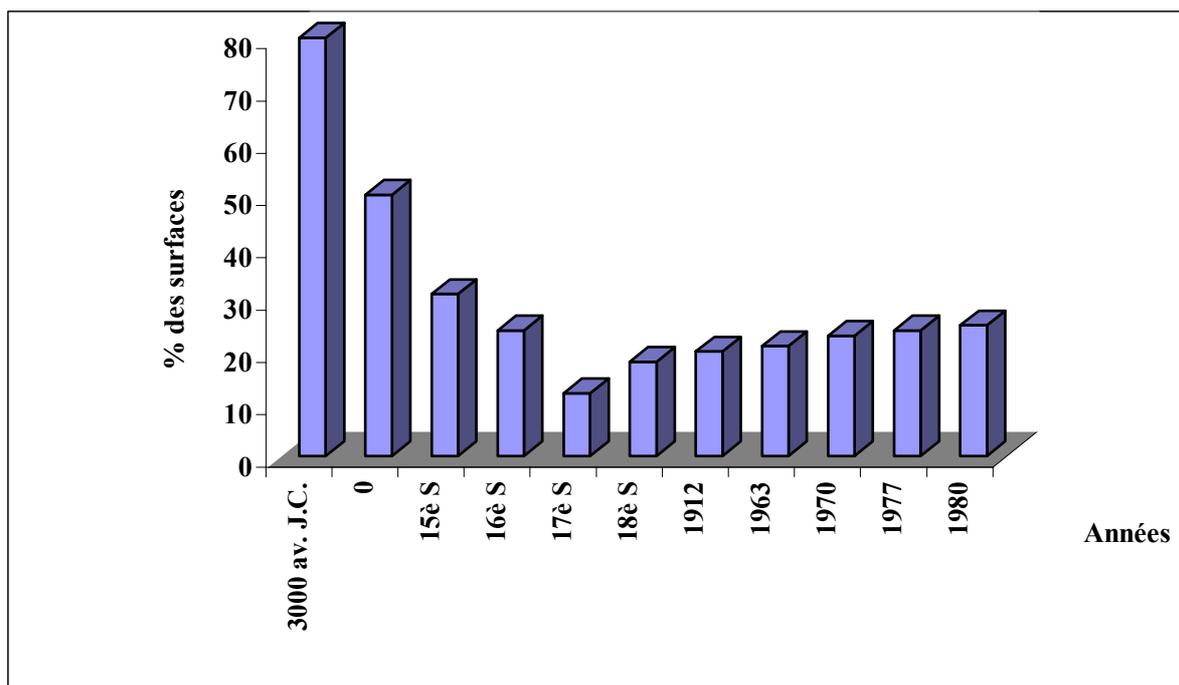


Fig. 4 : Evolution du pourcentage des surfaces recouvertes de forêt en France

Source : XI Congrès Forestier Mondial, 1997

Réalisation : N. HESSAS

On peut alors se poser la question de l'importance des feux de forêt de nos jours : quels sont leurs impacts et leurs gravités ?

3-Conséquences du feu sur les milieux naturels

D'une manière générale, dans tout le bassin méditerranéen, les incendies dévastateurs ont des incidences sur la biocénose (faune et flore) et le milieu édaphique par l'intermédiaire des cycles biogéochimiques et énergétiques. Les cycles des éléments minéraux sont perturbés en particulier celui de l'azote, mais aussi du potassium, du phosphore et du sodium. Ce sont les hautes températures ainsi que les phénomènes de lessivage qui en sont la cause.

Après l'incendie, la forêt offre un spectacle désolant. Les herbes, les brindilles, les petites branches sont calcinées. Seuls subsistent, noircis par le feu, les troncs d'arbres et les moignons de leurs grosses branches. Cependant la végétation n'est pas totalement détruite.



Photos 4 : Spectacle de sites après l'incendie du 15 août 2003

N. HESSAS, 2003

Des cas particuliers existent.

- Les branches et le tronc du chêne liège sont protégés par les qualités isolantes et l'épaisseur du liège. Seuls sont brûlés les arbres jeunes et, parmi les adultes, ceux dont le liège récolté depuis moins de trois ou quatre ans est encore mince (le liège atteint son épaisseur normale vers dix ou douze ans). Ainsi beaucoup de chênes lièges reverdiront timidement au premier printemps qui suivra l'incendie puis vigoureusement par la suite, les autres espèces ayant disparu. Toutefois ils ne le sont que dans leur partie aérienne. Car le passage du feu est rapide, la température du sol ne s'élève que superficiellement et faiblement, de sorte que les racines sont protégées. Les espèces qui peuvent émettre des rejets telles que les feuillus se reconstituent spontanément.



Photo 5 : Arbres brûlés, exemple d'un cas de pyrolyse Cagnes-sur-Mer
N. HESSAS, 2003

Enfin beaucoup de graines qu'elles soient sur le sol ou dans les cônes des pins, résistent à la chaleur. Elles germeront au printemps suivant, assureront-elles aussi une régénération naturelle. Les terrains incendiés se reboisent sans l'intervention du gestionnaire, mais ce n'est pas là une règle générale.

Des processus d'érosion et de ruissellement se déclenchent une fois la couverture végétale disparue. Le sol est à la merci de la moindre averse à tendance orageuse. Ce fait est d'autant plus désastreux que la pente est forte. Le caractère compact et fortement accidenté du bassin du Paillon peut expliquer les crues violentes et soudaines qui ont été observées sur ce cours d'eau. Le terrain karstique du jurassique est un élément majeur de la composition géologique des trois sous bassins principaux du Paillon qui peut moduler leur réponse hydrologique et favoriser l'occurrence des crues. Ceci ne s'arrête pas au Paillon ; dans tous les milieux méditerranéens, les reliefs sont souvent vigoureux avec des montagnes abruptes et des plaines littorales étroites. Le compartimentage du relief qui subit une érosion violente et la végétation pelée donnent parfois le sentiment de paysages désolés où la marque du feu est souvent présente.

On peut trouver, aussi, des processus d'érosion sur un sol dénudé par le feu et appauvri par l'érosion, les rejets des espèces manqueront de tonus. La nouvelle forêt sera

moins résistante. Les graines pourront être emportées par les pluies. La régénération naturelle des résineux ne se produira pas, du moins rapidement.

La reconstitution spontanée, en montagne, ne saurait à elle seule couvrir et protéger correctement le sol. Dans certains cas, il faut reboiser et intervenir très vite pour éviter que la terre ne soit entraînée par les pluies et la forêt définitivement détruite. Par contre sur le littoral, à l'opposé de la montagne notamment où les incendies sont rares sur la même parcelle, la garrigue et le maquis se reconstituent et recouvrent rapidement le sol. Toutefois, la réinstallation des résineux est aléatoire. Elle est rarement rapide et complète, parfois même elle ne se produit pas.

Le feu noircit l'écorce des arbres. Mais le bois n'est pas altéré. Il peut avoir une valeur marchande, du moins pour les arbres adultes. Cela justifie une récupération qui peut même financer un nettoyage complet. L'office National des forêts procède à l'élimination de la végétation incendiée et par la suite peut effectuer des reboisements.



Photo 6 : Abattage d'arbres par l'ONF de Nice, écorce noircie par le feu

N. HESSAS, 2003

- Les bois brûlés abandonnés en forêt attirent les insectes xylophages et facilitent leur multiplication mettant ainsi en danger les forêts voisines ; leur récupération est cependant une bonne opération sanitaire.
- Les arbres brûlés touchent à l'esthétique du paysage. Leur présence est incompatible avec l'accueil du public de plus en plus exigeant.



Photos 7 : Paysages désolants après l'incendie de 2003.
Photo de droite : Forêt de Lucéram, photo de gauche : Cagnes-sur-Mer.
N. HESSAS, 2003

3-1-Influence directe des incendies sur les grandes séries dynamiques

De manière indirecte, le déséquilibre des cycles biogéochimiques peut perturber la dynamique végétale, mais notre objectif est d'étudier l'influence directe des incendies sur les grandes séries dynamiques, plus ou moins façonnées par l'Homme.

L'évolution progressive sur laquelle est basée la dynamique végétale, peut être perturbée par des actions d'origine naturelle (chablis, foudre, inondations...) ou bien anthropique (aménagement, incendies...), qui peuvent entraîner une évolution dynamique régressive.

La naissance du mécanisme pyrophytique lors de l'évolution de la végétation favorise certaines espèces au détriment d'autres. La répartition et l'abondance de la végétation sont variables selon la fréquence des incendies. Une mise à feu qui intervient au cours de cette évolution entraîne obligatoirement un changement de la dynamique. Cette dernière peut être progressive, ralentie quand la mise à feu est exceptionnelle; régressive quand la mise à feu est fréquente. Ce sont des phénomènes de désertification qui prennent le relais.

La répétition des incendies peut entraîner un blocage dans l'évolution de la dynamique. Leur fréquence joue également un rôle dans la conservation ou non d'un couvert végétal.

Les perturbations de l'environnement d'importance majeure et de longue durée mènent souvent, comme leurs résultats le montrent, à des modifications profondes dans la gamme des espèces. Elles donnent l'impression d'accélérer l'évolution dont la vitesse est fonction d'une part de la direction et de la force de la pression de sélection, et d'autre part de la capacité de réaction génétique des espèces et des populations.

L'accélération de l'évolution s'explique de façon assez évidente: lorsqu'un réservoir génétique se trouve subitement en déficit adaptatif en raison de modifications dans le milieu, la pression d'élimination de l'environnement est modifiée. Du coup, certains mutants voient croître leurs chances d'occuper des niches libérées par leurs précédents occupants ou venant de s'ouvrir. La fréquence des mutations peut être modifiée par des interactions avec leur environnement. Il est par exemple connu que les augmentations de températures ou les doses élevées de rayonnements UV ont des effets mutagènes.

La question se pose des chances de succès que peuvent avoir les mutants nouvellement apparus. Les espèces et les populations se trouvent avec leur environnement dans un rapport d'équilibre plus ou moins flottant et instable. Cette stabilité vulnérable est mise en cause lorsque viennent s'y ajouter des mutants présentant une modification sensible du phénotype. Une population en état d'équilibre subit de leur part une baisse de vitalité. Leur intégration dans la population est plutôt improbable tant que l'environnement existant ne change pas. Ils ne résisteront pas à la pression d'élimination de leur milieu et disparaîtront.

Le maquis pyrophytique est considéré par MOLINIER et VIGNES (1971) comme un stade durablement stable (paraclimax). Il s'inscrit pour la plupart des auteurs dans une série régressive de la végétation. Formation fragile, elle ne cesse de se dégrader au fur et à mesure, laissant place à des espèces pyrophytiques peu diversifiées. L'aspect tant qualitatif que quantitatif de la formation est affecté. Ainsi s'amorce une évolution régressive dépendante de l'homme. Ce processus de dégradation par le feu existe depuis fort longtemps et la végétation actuelle est essentiellement pyrophytique.

3-2-Reconstitution de la végétation après incendie dans les écosystèmes fermés

De par le monde, le feu est un facteur néfaste à la végétation ; son rôle est de dégrader le milieu. Ce facteur néfaste présente des avantages pour certains milieux ; il aide à la

reconstitution d'un écosystème meilleur. Quelques exemples du comportement des espèces végétales face au feu seront cités et le rôle du feu en tant que facteur de sélection sera discuté. Du point de vue de l'écologie forestière, les caractères marquants de l'apport aux conditions du milieu défavorable sont particulièrement intéressants, car ils montrent comment les arbres, les forêts s'y adaptent pour défendre leurs exigences vitales.

Diverses espèces ont développé des adaptations au feu particulièrement efficaces.

- Remontant à plus de 60 millions d'années, le séquoia géant (*Sequoiadendron giganteum*) a pu survivre dans une région à incendies de forêts fréquents grâce à son écorce peu combustible, pouvant atteindre 60 cm d'épaisseur.
- Le rhytidome fortement subérisé dès le jeune âge chez le douglas (*Pseudotsuga menziesii*) constitue une bonne protection contre l'échauffement excessif du cambium lors d'incendies de forêts. On peut considérer l'écorce épaisse du douglas comme une adaptation aux incendies.
- Les séquoias ont même développé la propriété largement incombustible dont les cônes accrochés à l'arbre gardent leur faculté de germination jusqu'à douze ans. L'échauffement dû à l'incendie libère les semences. Elles germent dans le sol après combustion de la substance organique de l'humus. C'est ainsi que l'espèce a pu survivre depuis l'ère tertiaire.
- L'écorce épaisse de diverses espèces de pins et d'eucalyptus est également une adaptation à l'incendie. La chaleur de l'incendie déclenche chez le Pin *Pinus serotina* une réaction hormonale entraînant la formation de rejets à la base du tronc, qui assurent sa survie. Ces caractères sont génétiquement fixés. La chaleur du soleil n'y suffit pas. Les incendies de forêt rendent ainsi possible la régénération naturelle. Les pins comme *Pinus contorta* et d'autres pins sérotineux sont très exigeants en lumière, ils préservent de cette manière leurs semences jusqu'à ce qu'un incendie ouvre de vastes surfaces libres, profitant du feu qui décolmate les cônes au bon moment.

La forêt boréale de conifères est qualifiée dans la littérature américaine de «disturbance forest», en raison de la régularité et de la fréquence des incendies. S'il se passe plus de 200 ans sans incendie, les forêts se dégradent inexorablement, et les arbres survivent de plus en plus difficilement.

La fermeture des peuplements de conifères abaisse la température, ce qui entraîne l'accroissement de la couche d'humus, moindre disponibilité des nutriments, moindre réchauffement du sol en été, montée du niveau du permafrost dans le sol, détérioration du drainage du sol, engorgement, conditions anaérobiques, évolution vers le gley. L'incendie met fin à la stagnation des circuits d'énergie et de matières ainsi qu'à la dégradation progressive de la forêt. L'humus brûle ou se dégrade rapidement sur les surfaces incendiées. L'alimentation en éléments nutritifs tels le phosphore, le calcium et surtout l'azote est activée. L'aulne, qui participe aux stades précoces de la succession, contribue à cette amélioration en tant que fixateur d'azote. Le tremble et le peuplier, dont la litière se décompose bien, n'accumulent que de fines couches d'humus. Le sol minéral mis à nu offre de bonnes conditions de germination pour de nombreuses espèces, en particulier les pins. Les écosystèmes retournent relativement vite à la forêt de conifères, retrouvant leur faible niveau de production à mesure que se ralentissent les flux d'énergie et de matières. Ce cycle se répète environ tous les 50 à 100 ans.

La survie des essences dans un environnement dépend de façon décisive de leurs possibilités de régénération. De manière générale, la floraison et la fructification se raréfient, puis finissent par cesser à mesure que le climat se détériore (raccourcissement de la période de végétation, basses températures estivales). Beaucoup d'espèces se sont très bien adaptées non seulement à ces conditions, mais aussi au retour périodique des incendies de forêt (figure 5).

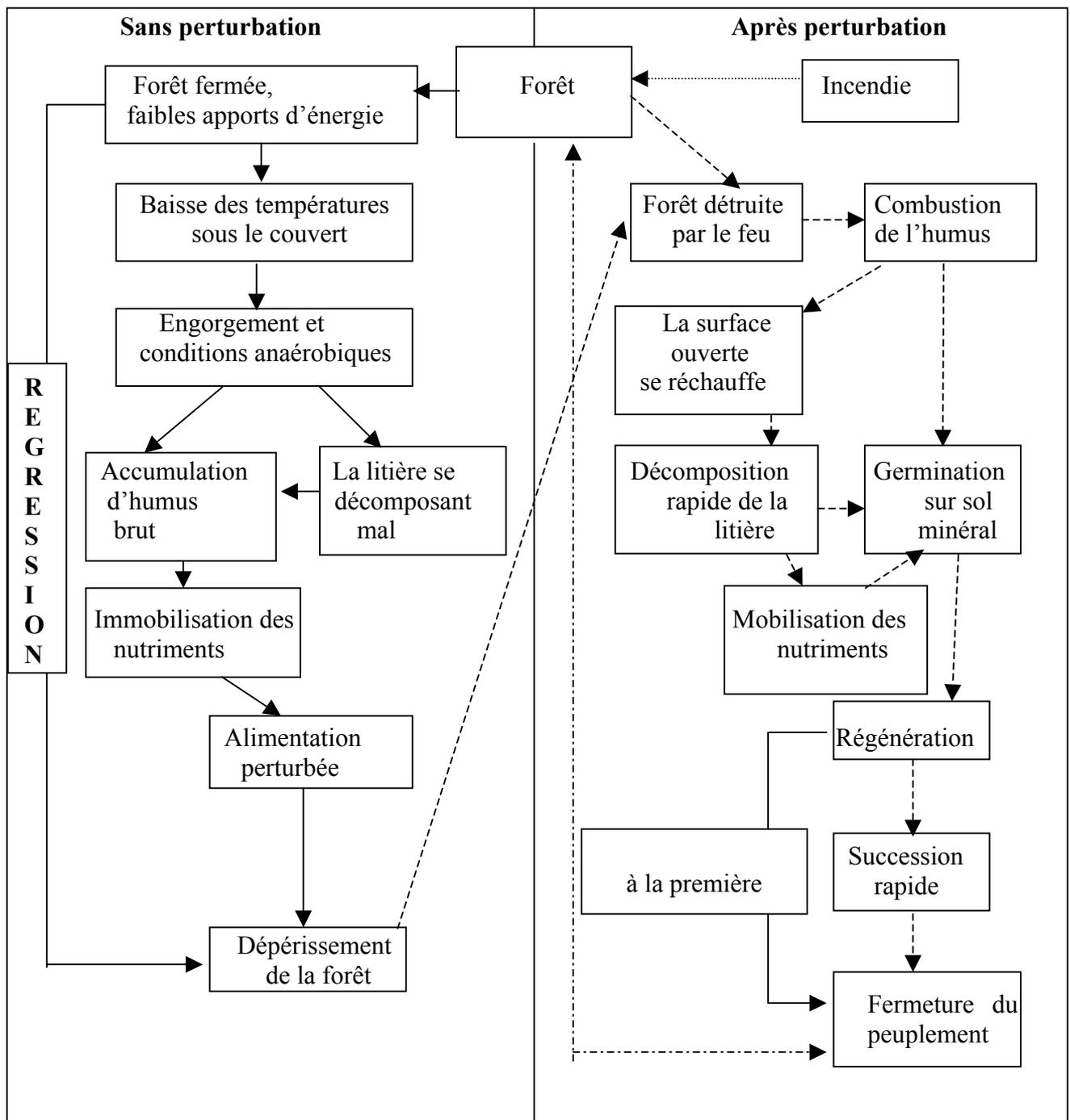


Fig. 5 : Influence des perturbations sur le milieu, développement linéaire et cyclique de la forêt.

Source : N. HESSAS, 2005

Les effets d'un incendie ne sont pas toujours positifs. Outre le feu, les principaux facteurs perturbant pouvant modifier les formations forestières, sont les pullulations d'insectes, parfois les inondations, plus rarement les chablis du vent.

Un peuplement pur de douglas de 100 à 150 ans de l'ouest de l'Amérique du Nord, avec sa canopée fermée, né après incendie naturel, constitue bien une forêt vierge, du moment qu'il n'a fait l'objet d'aucune intervention humaine, au même titre qu'une futaie régulière de pins et d'épicéas dans le nord de la Finlande, qu'une chênaie charmaie stratifiée en Pologne, ou qu'une futaie irrégulière d'aspect jardiné à épicéa, sapin, hêtre et érable sycomore dans la région médio européenne des forêts mélangées. Aux approches de la limite forestière des Alpes centrales, les futaies régulières mono spécifiques des mélèzes offrent un bon exemple de pauvreté en structures et en espèces. Dans l'ouest des Etats Unis, les incendies spontanés ont un rôle écologique important dans les forêts naturelles. Le couvert forestier étant continu, les incendies parcourent parfois des surfaces considérables. Les régénérations naturelles de pins et celles de *douglas* qui s'établissent sur les surfaces incendiées, développent à la longue des peuplements purs naturels, ne dépendant pas de facteurs stables, issus d'un événement naturel et se maintenant sur une longue période. A la différence des exemples précédents, marqués par des facteurs stables et climatiques, ces peuplements purs finissent par se transformer en peuplements mélangés, et sont donc limités dans le temps. L'absence momentanée de mélange a, ici, pour cause l'incendie. En ce qui concerne l'Europe centrale, on peut admettre qu'en règle générale dans la plupart des stations, au cours du développement naturel des bois, des phases de forêts mélangées apparaissent. Reste à savoir dans quels délais apparaissent ces structures mélangées, et combien de temps elles se maintiennent.

En effet toutes les descriptions générales de la végétation méditerranéenne font référence aux incendies : leur empreinte est visible à la fois par le développement de certaines essences aux stratégies de régénération adaptées comme le pin d'Alep (*Pinus halepensis* L.) ou les cystes qui deviennent conquérants après le passage d'un feu et par la fréquence des formes de dégradation de la forêt que sont le maquis et garrigues.

Toutes les études scientifiques menées sur le milieu méditerranéen confirment la présence du feu depuis des époques reculées. Les recherches sur les écosystèmes méditerranéens et les changements bioclimatiques, notamment la palynologie, permettent d'affirmer que la végétation du pourtour méditerranéen, indépendamment des actions humaines, est depuis des millions d'années façonnée par le passage répété d'incendies d'origine naturelle. Bien qu'ayant des conséquences catastrophiques sur certains végétaux, le feu a aussi contribué au maintien de la diversité biologique des milieux méditerranéens en favorisant des espèces liées au début de séries de végétation (CHALONER et JONES, 1991,

HETIER, 1993) qui ont besoin pour leur développement d'espaces ouverts. Ce sont ces considérations qui amènent certains forestiers, notamment aux Etats unis, à laisser les incendies se développer librement. Mais l'effet bénéfique, s'il est réel, n'existe qu'à condition que la fréquence des feux soit suffisamment faible pour laisser le temps à la végétation de se régénérer.

Des études ont été réalisées sur le feu par M. THINON, 1998 en prenant comme milieu les calanques de Cassis près de Marseille, région régulièrement ravagée par le feu. Pour l'étude de cette sélection, l'auteur privilégie un matériel : les charbons de bois. Une fois nettoyés et datés au carbone 14, les charbons sont prêts à être analysés. M. THINON trouve des charbons du niveau inférieur datés de 1 500 ans avant J.-C. Et il trouve que le chêne caducifolié qui a fortement régressé occupait encore le bord de la mer. Cette régression peut facilement être expliquée par l'activité sélective du troupeau, du pâturage car cette espèce, par rapport aux autres plantes que l'on trouve actuellement dans la garrigue, est très facilement consommée par les animaux et donc, il y a eu une sélection au court du temps. Ainsi l'étude des flores du passé montre que le chêne blanc était associé au pin et au chêne vert sur le littoral provençal. Il résiste mieux au feu : ne pourrait-on l'utiliser dans les reboisements qui sont pratiqués après les incendies qui font ravage chaque année ?

4-Fonctions de la forêt : parcours des troupeaux, fixation des terres et régularisation du régime des eaux

4-1-Parcours des troupeaux, action du pâturage sur la forêt

Les activités pastorales ont tenu une grande place dans le passé des populations méditerranéennes. Dans la plus part des pays, la vaine pâture est la règle. Elle permet de faire paître le bétail sur les terres non clôturées, une fois les récoltes enlevées. D'autre part, les formations subforestières sont vastes; elles sont généralement communales et ouvertes aux parcours.

Pratiquement, il ne paraît pas y avoir de pays méditerranéens où l'introduction des troupeaux en forêt soit systématiquement interdite ou permise. Chaque pays possède à cet égard, une politique et une réglementation basées sur quelques principes assez simples et plus ou moins strictement appliqués:

- dans les formations subforestières, classées comme terrain de parcours, l'introduction des troupeaux est libre au même titre que dans les broussailles et dans la steppe;
- dans les formations arborées domaniales et communales, elle est généralement réglementée;
- dans les forêts privées, elle est généralement interdite, en principe mais très souvent tolérée.

Par contre l'action des troupeaux sur la forêt a un rôle de destruction des bourgeons terminaux qui compromet le développement des jeunes arbres. Ce danger n'existe que pour les arbres de moins de 1,5 m à 2 m de hauteur. Sa partie aérienne se fane et sèche. En été, elle constitue un tapis inflammable dont l'élimination par le troupeau rend la forêt moins sensible à l'incendie.

Les éleveurs de moutons ont toujours incité à mettre le feu en forêt pour éliminer la broussaille et provoquer la repousse de l'herbe. Ceci est aussi valable pour les éleveurs de chèvres qui se nourrissent de végétaux ligneux. Mais la chèvre nettoie –t-elle la forêt de ses broussailles mieux que ne le fait le mouton et contribue –t-elle à améliorer sa protection contre l'incendie ? Cette opinion souvent formulée est parfois contestée. Quand la chèvre coupe une jeune tige ligneuse, plusieurs bourgeons se forment à l'amont de la coupure et forment autant de tiges courtes. Ainsi la végétation n'est pas détruite mais elle est devenue plus basse et plus buissonnante et pour cela même plus combustible (SEIGUE, 1985).

Selon BECKER *et al.* (1981) le surpâturage peut entraîner des conséquences graves, à la fois mécaniques (tassement du sol), et biologiques (broutement à mort de toutes les autres espèces du sous-bois). En outre la suppression de la strate herbacée est susceptible d'entraîner une érosion active des zones où le sol est tendre: c'est ce qui s'est passé à grande échelle, dans les Alpes du Sud au XIX siècle.

Les incendies, autrefois, avaient tous un but utilitaire. L'objectif était soit d'entretenir le pâturage, soit de fabriquer de l'engrais pour l'agriculture à partir de la végétation provenant de la jachère. THINON (1998) « Le couple feu et troupeaux est un couple qui est inséparable dans les sociétés traditionnelles et a un impact extrêmement important sur la nature et la physionomie de la végétation ».

4-2-Fixation des terres sur les pentes. Rôle de la végétation

Le couvert forestier des versants est unanimement reconnu comme fournissant une bonne protection du sol. Il ne faut cependant pas exagérer ce rôle de protection contre l'érosion, car les études montrent qu'un couvert herbacé dense, en l'absence de surpâturage, peut avoir un rôle équivalent.

En matière d'érosion superficielle, la forêt a un impact évident, en offrant une couverture qui réduit l'énergie incidente des gouttes de pluie, mais aussi par la litière qu'elle crée et qui offre d'excellentes possibilités d'infiltration, tout en éliminant la possibilité de formation de croûtes superficielles (LAVABRE *et al.*, 2000).

4-3-Régularisation du régime des eaux

En territoire méditerranéen, la maîtrise de la ressource en eau constitue un enjeu capital pour le gestionnaire. Or les incendies de forêt engendrent des modifications fondamentales de l'occupation du sol et donc des écoulements. La végétation est en effet totalement détruite. Elle laisse alors la place à du sol nu, et se reconstitue au fil du temps suivant une dynamique conditionnée par des facteurs aussi divers que la composition du peuplement d'origine, sa résilience, la diversité spécifique des peuplements voisins, la fertilité du substrat...(DESBOIS et VINE, 1997).

Selon LAVABRE *et al.* (2000) pour la disponibilité de la ressource, il semble bien que le fort développement foliaire des espèces arborées ait tendance à augmenter l'interception et l'évaporation des précipitations et que la capacité de rétention par les racines soit susceptible de mobiliser de fortes quantités d'eau du sol pour l'évapotranspiration. Il a souvent été écrit que la forêt se comporte comme une éponge, qui retient l'eau des pluies qu'elle restitue ensuite lentement. Elle joue un rôle important comme modérateur des écoulements et réducteur des pointes de crues; ce qui a été très largement affirmé et continue de l'être.

Plusieurs travaux sur les crues ont pu mettre en évidence un accroissement des débits de pointes de crues courantes suite à des déforestations brusques telles que celles dues aux incendies. Les études ne s'arrêtent pas à cette hypothèse ; elles ont aussi démontré que ce sont souvent des aménagements associés à la gestion forestière (construction de routes, travaux

d'exploitation) qui sont responsables des augmentations de débits de pointes de crues parfois constatées.

Les espaces forestiers interfèrent donc sur le cycle de l'eau avec des effets positifs notamment sur le fonctionnement des hydrosystèmes, la qualité des eaux, la vie aquatique et sur certaines formes de régulation des écoulements. L'extension de la forêt joue aussi un rôle régulateur au sein de l'écosystème.

Les questions touchant à la gestion de l'eau ne sont pas étrangères à la gestion forestière. Déjà en 1800, dans un «Projet d'organisation forestière», Rougier de la Bergerie proposait des dispositions spécifiques à certains bassins versants. Plus tard, à la fin du 19^{ème} siècle, les résultats spectaculaires des travaux de restauration des terrains montagneux (qui avaient pour objectif principal la lutte contre l'érosion torrentielle) ont profondément marqué les esprits. De façon plus modeste mais néanmoins ancrée dans la culture technique des gestionnaires forestiers, la gestion de l'eau est l'une des fonctions attendues de la forêt, qui doit être prise en compte dans les plans établis.

D'après CHADDOEUF *et al.* (1988), l'évaluation de l'évapotranspiration est un élément essentiel pour la compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers, notamment en ce qui concerne leur production. Dans leur étude, ils sont arrivés à la conclusion que la distribution de l'eau dans le sol dépend de phénomènes aussi différents que l'influence de l'éclaircie et son évolution au cours du temps, la variation de densité de plantations ou l'existence d'une nappe.

L'étude de la variabilité spatiale de la réserve hydrique dans le sol et de son évolution dans le temps a fait l'objet d'un certain nombre de travaux; citons ceux de NIELSEN *et al.*(1973), VAUCLIN (1983), RAMBAL *et al.*(1984), CHADDOEUF (1984), MILLY *et* EAGLESON (1987), réalisés aussi bien sur des sites agricoles que forestiers. Cette variabilité est le plus souvent mise en relation avec celle des caractéristiques hydrodynamiques des sols: dans le cas des peuplements forestiers peut s'y ajouter l'effet des arbres. Plusieurs séries d'expérimentations menées en Lorraine ont permis de comparer les différents termes du bilan hydrique en fonction de l'essence, de la structure du peuplement et des interventions sylvicoles (AUSSENAC *et* GRANIER, 1979; AUSSENAC *et al.*, 1982). Elles mettent aussi en évidence la variabilité des réserves en eau.

5-Chronique des grands incendies en région méditerranéenne française

Avec quinze millions d'hectares de forêts, soit un peu plus du quart du territoire national, la France se place au troisième rang des pays les plus boisés de l'Union Européenne. Mais cette richesse naturelle, à laquelle vient s'ajouter l'importante diversité des zones forestières françaises constituées de 136 essences d'arbres différentes, rend le territoire plus vulnérable aux incendies.

Chaque année des milliers d'hectares sont dévastés par les flammes, en dépit d'une stabilisation encourageante du nombre annuel de départs de feux. Cette vulnérabilité n'est cependant pas identique pour toutes les zones forestières et subforestières du territoire. Seule la moitié des surfaces boisées est particulièrement vulnérable aux incendies, soit environ sept millions d'hectares de forêts (sauf années exceptionnelles comme en 1996). Les quatre millions d'hectares de maquis et garrigue de la région méditerranéenne et de la Corse, ainsi que le million d'hectares de forêts de pins dans les Landes sont tout particulièrement concernés.

Selon KEMPF et PIANTANDA in FAURE (1991) au Moyen Age, les incendies et les actes de justice mentionnent régulièrement les feux dévastateurs. Aux XIII^{ème} siècle, en 1271, l'un des plus anciens témoignages relate l'incendie de la totalité de la forêt de la Verne. Au début du XVI^{ème} siècle Charles-Quint fit flamber L'Estérel pour en chasser les paysans.

Des incendies gigantesques ont été recensés dans les Maures et l'Estérel en 1838, 1840, 1854. 6 000 hectares brûlés dans la Var en 1862, 11 000 hectares en 1864, 4 000 hectares par an de 1838 à 1848. Charles de RIBBE dit: «Nous habitons la région du feu! » Le député Emile OLIVIER clame en 1867 devant l'assemblée à Paris: «Pendant qu'on discute ici, là-bas nous brûlons! ». En quelque sorte, la forêt méditerranéenne n'a jamais autant brûlé, bien qu'elle fut occupée par les hommes, et parce qu'elle était occupée par les hommes. Les activités qui s'y déployaient multipliaient les causes d'incendies.

Il fallait alors un bouc émissaire, et l'on accusait le berger, soupçonné d'imprudence, de malveillance ou de recherche de profit. On répétait aussi que les incendies criminels n'étaient que vengeances contre les gardes des Eaux et Forêts.

Ce n'est qu'à la fin du XIX^{ème} siècle qu'une réglementation ferme interdira les écobuages dans les forêts privées comme dans les forêts publiques, mesure indispensable

apparemment vue l'extension de la forêt et des reboisements à partir de 1890, mais de plus en plus obsolète, car la pression sur les forêts diminue ; il y a de moins en moins de population rurale.

Les archives du premier quart du XIX^{ème} siècle mentionnent des incendies toutes les années, sans toujours fournir de superficies précises, mais il est souvent indiqué: surfaces assez considérables, quantités incalculables d'arbres brûlés. Grâce au site Prométhée, nous disposant depuis 1972 de chiffres très précis, nous permettant ainsi de faire des comparaisons objectives. Des statistiques fournies nous donnent une vue exhaustive de l'évolution en quantité des surfaces brûlées.

Dans l'ensemble des départements méditerranéens, de 1972 à 1986, il a brûlé bon an mal an 36000 hectares par an, avec des années dures (57 000 hectares en 1978, 46 000 hectares en 1986). Le nombre de départs de feux tend à augmenter. Selon BIANCO (1998), le risque d'incendie en région méditerranéenne est tel que plus de 4 millions d'hectares sont concernés, soit une superficie deux fois plus importante qu'au siècle dernier pour 1,2 millions d'hectares pour l'Aquitaine.

Les surfaces de forêts incendiées dans différents départements sont regroupées dans le tableau suivant:

Tableau 2: Moyenne décennale de surfaces brûlées

Départements	Superficies incendiées (ha)	Superficies boisées (ha)	Superficies incendiées pour 1000 ha boisés
Aude	820	93 000	9 pour mille
Gard	1 469	137 000	11 pour mille
Hérault	1 716	111 000	15 pour mille
Lozère	693	107 000	6 pour mille
Pyrénées orientales	1 440	166 000	13 pour mille
Basses - Alpes	507	222 000	2 pour mille
Hautes – Alpes	106	167 000	0,6 pour mille
Alpes-Maritimes	2 244	139 000	16 pour mille
Bouches du Rhône	3 103	96 000	31 pour mille
Corse	2 157	172 000	12 pour mille
Var	9 164	299 000	31 pour mille
Vaucluse	394	104 000	4 pour mille
Total	23 813	1 813 000	13 pour mille
Total pour la France	31 000	11 432 000	2,6 pour mille

Source : SEIGUE, 1987

Ce tableau est extrait d'un rapport établi en 1965 à partir d'informations fournies par les conservateurs des Eaux et Forêts en vue de préparer la loi de 1966. Il concerne les départements actuellement affiliés à l'entente interdépartementale, à l'exception de l'Ardèche. Son intérêt est qu'il présente, côte à côte, pour chaque département, la superficie moyenne incendiée en dix ans et la superficie boisée. Or le total des superficies boisées est de 1 830 000 hectares, chiffre qu'il faut rapprocher des 2 200 000 hectares de formations strictement forestières donné par le ministère de l'agriculture pour tous les départements affiliés à l'entente. L'écart peut être expliqué par l'absence de l'Ardèche sur le tableau et aussi par quelques incertitudes sur la répartition entre formations strictement forestières et subforestières. Il est certain que la superficie moyenne de 23 813 hectares incendiés qui figure au tableau ne concerne que les formations strictement forestières (SEIGUE, 1987).

Le département des Alpes Maritimes qui fait l'objet de notre étude avec 9,42 % de surface brûlées se situe juste derrière celui du Var (9 164 hectares) et des Bouches-du-Rhône (3 103 hectares).

Le tableau suivant représente les résultats d'une étude publiée par le ministère de l'agriculture (dossier sur la forêt méditerranéenne, Bulletin technique d'information in SEIGUE, 1987).

Tableau 3: Dégâts annuels moyens pour la période de 1974 à 1978

	hectares	%
Formations forestières	9 000	29
- Feuillues	5 200	17
- Résineux	3 800	12
Landes, garrigues, maquis	22 500	71
Total	31 500	100

Source : Bulletin technique d'information, 1987

De 1974 à 1978, pour un hectare brûlé dans les formations strictement forestières, il en brûlait 2,8 dans les formations subforestières, soit 3,8 hectares pour les deux types de formations confondues. En extrapolant cette donnée aux 23 813 hectares de la surface totale incendiée dans les départements mentionnés ci-dessus, la superficie brûlée dans toutes les formations confondues est de $23\ 813 \times 3,8 = 90\ 400$ hectares. Ce chiffre est comparé aux 31 800 hectares que donne Prométhée dans les mêmes conditions pour la période de 1973 – 1984.

On constate que vers 1965, il brûlait en moyenne 90 400 hectares par an. Vers 1984 il n'en brûle plus que 31 800. L'efficacité du dispositif a été améliorée de 65 %. Il se forge une nouvelle sensibilité et une opinion publique se forme. Les incendies commencent à alimenter les chroniques, à émouvoir lentement les pouvoirs publics, à être récupérés par les politiques. Dès le début du XX^{ème} siècle, la quasi-totalité des mesures actuelles sont déjà envisagées.

Selon le PPR (2000) les incendies de forêts ont des conséquences à la fois sur l'environnement, les biens et sur les vies humaines. C'est vrai que le feu est beaucoup moins meurtrier que la plupart des autres catastrophes naturelles. Néanmoins, il provoque la mort d'hommes, notamment parmi les combattants du feu: 80 personnes ont péri dans les landes en 1945, 5 en 1985 dans le Tanneron (partie varoise), 5 autres personnes ont péri lors de l'incendie de Cabasson (Var) en 1990. Il n'en reste pas moins très coûteux, tant au niveau des moyens matériels et humains mis en œuvre, que des conséquences environnementales et économiques qui en découlent. Ainsi en 2002, plus de 125 millions d'Euros ont été consacrés à la prévention et à la lutte contre les feux en France. Face à ce constat, l'État mène une

politique de prévention active, dont la priorité est l'information du public et des usagers de la forêt (www.Prim.net).

6- Feux de forêt dans le sud de l'Europe

Les incendies de forêt touchent de nombreux pays en Europe et dans le monde. Ils causent de nombreux dégâts. A titre d'exemple, les superficies touchées dans le sud de l'Europe sont représentées dans la figure suivante.

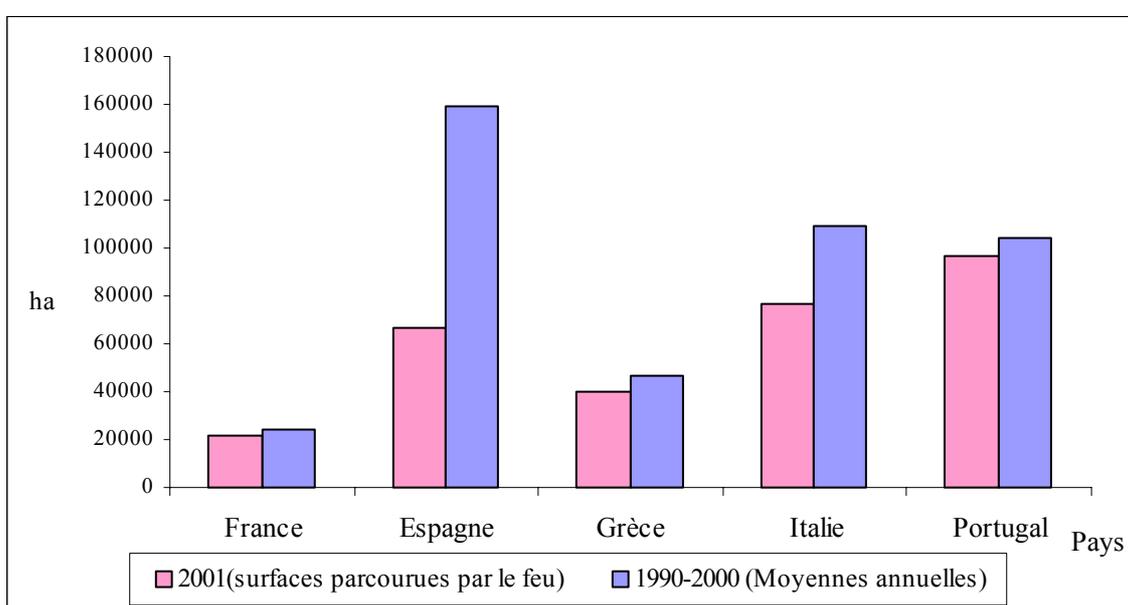


Fig. 6 : Surfaces parcourues par le feu dans le sud de l'Europe

Sources: Ministère de l'intérieur, Direction de la défense et de la sécurité civile, <http://www.interieur.gouv.fr>, 2002

Le feu représente le premier péril naturel pour les forêts et les zones boisées du bassin méditerranéen. Il détruit plus d'arbres que toutes les autres calamités naturelles - attaques de parasites, insectes, tornades, gelées, etc.

Dans l'ensemble du bassin méditerranéen, les feux de forêt atteignent aujourd'hui le chiffre d'environ 50 000 par an, c'est-à-dire deux fois plus que dans les années 70. Les séries statistiques ne coïncidant pas, on ne peut mesurer avec certitude l'évolution sur toute la zone. Dans les pays qui disposent de données dès les années 50, on peut noter une forte augmentation à partir du début des années 70: Espagne (de 1 900 à 8 000), Italie (de 3 400 à 10 500), Grèce (de 700 à 1 100), Maroc (de 150 à 200) et Turquie (de 600 à 1 400). Seule l'ex-Yougoslavie s'écarte de la tendance générale (de 900 à 800).

D'après Le HOUEROU (1987), les superficies brûlées totales dans certains pays méditerranéens peuvent être estimées à environ 600 000 hectares par an soit près du double des années 70. Toutefois, la tendance observée est beaucoup moins uniforme que pour l'incidence des feux. On constate une aggravation de la situation en Grèce (de 12 000 à 39 000 hectares), en Italie (de 43 000 à 118 000 hectares), au Maroc (de 2 000 à 3 100 hectares), en Espagne (de 50 000 à 208 000 hectares) et en ex-Yougoslavie (de 5 000 à 13 000 hectares). Au Portugal, la situation s'est également dégradée. Bien que les relevés statistiques soient récents. En Algérie et à Chypre, on ne décèle aucune tendance à partir des statistiques, mais certaines années présentent un maximum très élevé (par exemple, 1957, 1958 et 1983 en Algérie; 1974 à Chypre). Enfin, les superficies incendiées totales sont restées relativement stables en Croatie, en France, en Israël et en Turquie. Il est intéressant de noter qu'en dépit de toutes les mesures prises, aucun pays ne fait état d'une amélioration de la situation.

Avec 50 000 incendies et 600 000 hectares brûlés en moyenne chaque année, les feux de forêt dans le bassin méditerranéen représentent une part importante des incendies de la planète. D'après Le HOUEROU (1987), le coût annuel total des mesures de lutte anti-incendie et de sécurité dans la région dépasserait un milliard de dollars EU. En dépit des efforts déployés, en particulier dans les pays d'Europe du Sud, le phénomène est loin de se stabiliser, il semble même être en forte augmentation. On peut faire plusieurs observations pertinentes.

Aujourd'hui, les statistiques forestières sont mieux tenues qu'il y a 20 ans, et certaines des augmentations constatées pourraient n'être dues qu'à une meilleure qualité des données. L'accroissement des superficies forestières, en particulier de forêts non aménagées, dans la plupart des pays du nord de la Méditerranée, augmente les possibilités d'incendies, et plus particulièrement de feux plus étendus que par le passé (comme récemment en Espagne).

Les politiques adoptées encore récemment donnaient la priorité à la lutte anti incendie (et aux activités de préparation à la lutte contre l'incendie) au détriment des efforts de prévention ou de contrôle. Paradoxalement, dans certaines zones, les initiatives réussies de prévention se sont traduites par une augmentation de la quantité de combustible, et partant, par un accroissement du risque, rendant la maîtrise des feux encore plus difficile à l'avenir. Les politiques influant sur les feux de forêt sont multiples, et nombre d'entre elles sortent du cadre direct du secteur forestier. Les politiques portant sur les questions de guerre, de droit d'usage, de droit de propriété, d'emploi, d'urbanisation, de subventions agricoles sont toutes

susceptibles d'avoir des répercussions sur les incendies. C'est dans ces secteurs qu'il faut chercher la «solution» aux feux de forêt (ALEXANDRIAN, ESNAULT et CALABRI, 1998).

Selon le site du parlement européen, la France avec 15 millions d'hectares de forêts est l'Etat le plus boisé de la CEE. Les feux peuvent toucher toutes les forêts du territoire mais concernent plus particulièrement la landaise (artificielle de pins maritimes) et surtout la forêt méditerranéenne (semi-naturelle installée sur un terrain accidenté). 80 % des incendies de forêts sont relevés dans les départements du seul sud-est (en raison de la nature des essences, du vent, de la sécheresse...). Les feux ont jusqu'à présent détruit environ 45 000 hectares de forêts, soit une augmentation de 30 % par rapport à la moyenne de 1980 - 2000.

La superficie forestière totale espagnole, comprend diverses formations arborées comme les plantations linéaires et toutes les formes de couvertures végétales non cultivées, même dépourvues d'arbres ou arbustes : pâturages, steppes, landes et friches (arbustives ou non) maquis et garrigues, couvrent 22 973 548 hectares (45 % du territoire national). Plus de 3 600 hectares de forêt ont été dévastés au nord de Barcelone. Le plus malheureux en ce qui a trait à ces feux est qu'ils ont provoqué la mort de cinq personnes.

Sur le continent européen, la situation est particulièrement alarmante au Portugal, où les incendies gagnent du terrain dans le sud du pays. Sa superficie forestière totale est de 3,2 millions d'hectares, soit 36 % du territoire. Quatre essences principales couvrent 90 % de la surface boisée : pin maritime *Pinus maritima*, chêne-liège *Quercus suber*, chêne vert *Quercus ilex* et eucalyptus *Eucalyptus globulus*. Les résineux occupent 42 % de la surface et les feuillus 58 %. Suite à la prise en compte de formations forestières non considérées précédemment et aux derniers inventaires spécifiques réalisés pour l'eucalyptus et le pin maritime, les pouvoirs publics évaluent actuellement les surfaces boisées à 550 000 hectares d'eucalyptus, 1 000 000 hectares de pins maritimes, 1 280 000 hectares de chênes et 420 000 hectares d'autres feuillus et résineux. Les incendies gagnent du terrain dans le sud du pays. Le feu a fait perdre en 2003, environ 400 000 hectares de terre dont 300 000 hectares de forêt, soit une augmentation de plus de 300 pour cent par rapport aux pertes moyennes pendant les deux dernières décennies. 18 personnes ont perdu la vie. Au plus fort de la crise 400 pompiers et militaires sont amenés à lutter contre les nombreux feux qui gagnent du terrain. Le massif forestier de Monchique est l'endroit le plus touché au Portugal (<http://europa.eu.in>, 2003).

Avec une surface de 13,2 millions d'hectares, la Grèce apparaît comme un pays fortement accidenté puisque les plaines n'y occupent que 30 % du sol. Le potentiel forestier varie selon l'altitude et selon le climat : les précipitations diminuent en allant d'ouest vers l'est ; elles sont plus marquées au nord qu'au sud. Le climat est fortement méditerranéen dans la moitié sud et dans les îles, il évolue lentement vers le montagnard dans le centre et surtout dans le nord de l'Etat. Depuis quelques années, les grands incendies qui ont désolé le pays n'ont pas été compensés par la reconstitution forestière. De l'avis de tous les responsables forestiers grecs, les reboisements sont pratiquement inexistantes en dehors des zones déjà forestières. Le pâturage anarchique, un personnel forestier mal formé et sans autorité, une population locale non sensibilisée à ce problème entravent fortement le reboisement des 3 millions d'hectares potentiellement reboisables, aussi bien pour la production ligneuse que pour la protection des sols et des sites. Entre 1964 et 1983, la surface brûlée est restée annuellement assez stable, les moyennes se situaient autour de 20 000 hectares, pour 700 à 800 feux. Depuis, la situation s'aggrave de façon inquiétante. En 1985 par exemple, 614 feux de forêts (48 000 hectares) et 620 feux d'espaces naturels ligneux (43 800 hectares) se sont produits. A compter de 1989, des îles ont été ravagées par les flammes, comme Thàssos ou Chio, et l'espace parcouru ne s'arrête pas aux seules forêts. Des oliveraies ou des plantations d'agrumes sont touchées à l'occasion de sécheresses impressionnantes. La forêt grecque, l'espace naturel à caractère forestier, les zones agricoles périphériques sont atteintes dans leurs sanctuaires et l'économie locale de ces secteurs s'en remet très mal. Une analyse rapide de ce phénomène révèle des traits communs à tous les pays du pourtour méditerranéen, mais aussi des facteurs spécifiques à la Grèce.

Traits communs :

- 70 % des feux sont arrêtés avant une dizaine d'hectares,
- les grands feux représentent 95 % de la surface annuelle incendiée,
- les causes ne sont pas nouvelles (désertification rurale, tourisme, problèmes fonciers, pyromanie...).

Traits spécifiques :

- liaison trilogique entre années à fort taux d'incendie,
- mauvais bilan économique,
- événements politiques graves (élections de 1977, invasion turque de Chypre par exemple).

La couverture boisée a durement accusé le choc de quinze mauvaises années et plusieurs publications confirment une très sensible baisse du taux de boisement réel. Le réveil de l'érosion, localement, derrière les feux, fait de ce dossier complexe une contrainte énorme, qui pèse lourdement sur la politique forestière de ce pays et réduit sa marge de choix.

La superficie totale du territoire italien étant de 30 128 000 hectares, les forêts et les formations rocheuses ou arbustives en occupent environ le quart et la forêt productive en occupe environ le cinquième. Les 2 179 000 hectares de futaies sont constitués de résineux (51 %), de feuillus (34 %) et de peuplements mixtes (15 %). Les 3 674 000 hectares de taillis sont à 90 % constitués de feuillus et à 10 % de peuplements mixtes. Les 289 000 hectares de peuplements *spécialisés* sont constitués à 94 % d'essences feuillues et 6 % de résineux. Il n'y a pratiquement pas de futaies de plaine (seulement 17 % sont à moins de 500 m d'altitude) ; les taillis prédominent en plaine et en moyenne montagne (37 % à moins de 500 m et 47 % de 500 à 1 000 m) ; les peuplements de productions ligneuses intensives ou spécialisées ne sont localisés qu'à moins de 1 000 m d'altitude (62 % à moins de 500 m et 35 % de 500 à 1 000 m).

Selon la FAO (2003) aux Etats-Unis, en 2003, quelques 2,8 millions d'hectares de forêt ont été détruits par des incendies, contre 1,7 millions d'hectares en 2002. Toutefois, au Canada, les pertes sont passées de 2,6 millions d'hectares en 2002 à environ 1,5 millions d'hectares cette année malgré la sévérité des incendies dans l'ouest du pays. Plusieurs états américains sont aussi touchés par la crise. Des feux d'importance très haute à extrême ont jusqu'ici été rapportés en Alaska, en Arizona, en Californie, au Colorado, à Hawaï, en Idaho, au Montana, au Nevada, au Nouveau-Mexique, en Oklahoma, en Oregon, au Dakota du Sud, au Texas, en Utah, dans l'état de Washington et au Wyoming. En tout, environ 300 feux sont recensés, pour un total de 34 000 acres brûlés. Plus de 230 équipages de 20 personnes ont été dépêchés sur les lieux, sans compter les 488 camions et 136 hélicoptères. À ce jour, les dégâts ne sont toujours pas évalués, mais chose certaine, l'artillerie lourde est là pour limiter les dégâts autant que possible.

7-Conclusion du premier chapitre

La forêt méditerranéenne, forêt dégradée, formée généralement de taillis, était sujette aux incendies hier autant, sinon plus qu'aujourd'hui. On pourrait se demander si les énumérations citées ci-dessus sont nécessaires puisqu'il est établi que telle qu'elle est

aujourd'hui par ses essences, sa composition et son organisation, la forêt méditerranéenne est née du feu. Sans le passage du feu mille fois répété, nous aurions largement autour de nous un couvert ombreux de chênes verts, liège ou pubescents, étouffant un sous bois de lianes.

Pour les écosystèmes forestiers, l'incendie de forêt peut avoir des effets bénéfiques permettant la régénération des espaces boisés, mais une trop grande fréquence des feux accroît la sensibilité de la forêt et cause de véritables catastrophes écologiques. Ils provoquent également des dommages majeurs, tant par leur nature que par leur ampleur, aux personnes et aux biens situés notamment en zones périurbaines. Or, le développement de constructions, au contact de la forêt et à l'intérieur des massifs boisés, accroît la sensibilité de ces espaces périurbains aux incendies de forêt, de sorte que la situation devient de plus en plus préoccupante. Face à cette situation, la mise en place d'une politique de gestion s'avère indispensable. Cette politique revêt donc une importance particulière dans la gestion des forêts. Se pose alors la question de l'intégration d'une politique spécifique telle que le PPR. Au niveau mondial, selon les dernières données disponibles, plus de 350 millions d'hectares de forêts ont brûlé en 2000. Cette surface est égale à la taille de l'Inde (FAO, 2002).

Les dommages dus aux incendies dans le bassin méditerranéen ont été extrêmement élevés, contrastant fortement avec les statistiques des 10 dernières années, durant lesquelles il avait été constaté une baisse globale des effets du feu. D'après les chiffres provisoires de chaque pays pour l'année 2003, le feu a parcouru 15,8 % de la superficie forestière au Portugal, 2,3 % en Provence, 1,06 % en Italie et 0,5 % en Espagne. Si cette dernière valeur semble faible, il suffit de la comparer au 0,3 % enregistré en Espagne en 2002, pour s'assurer que les dégâts se sont notablement accrus, même s'ils n'ont pas dépassé la moyenne de la dernière décennie qui peut être qualifiée « d'acceptable » (VELEZ, 2004).

Les départements du Sud Est de la France, milieux méditerranéens, sont confrontés à des incendies qui modifient leurs paysages. L'étude de l'évolution de l'occupation du milieu à travers les photographies aériennes, sur différentes années, pour les Alpes-Maritimes nous permettra de connaître s'il y a régression ou progression, après le passage du feu.

Chapitre II

**Analyse spatiale (géographie) et écologie du
milieu d'étude : bassin versant du Paillon,
Nice, Alpes-Maritimes**

Chapitre II : Analyse spatiale (géographie) et écologie du milieu d'étude : bassin versant du Paillon, Nice, Alpes-Maritimes

1-Situation géographique du bassin versant du Paillon Nice

Situé dans les Alpes-Maritimes, le bassin versant du Paillon de Nice a fait l'objet de multiples études. Le département se présente sous la forme d'un triangle de 70 km de base et 95 km de hauteur (figure 7a). Avec une superficie de 4300 km² il ne représente que 0,78% du territoire national. Sa population de plus d'un million d'habitants se concentre en bordure de la Méditerranée, mais géographiquement, c'est avant tout un département montagnard, entaillé par de profondes vallées, et limité au sud par la mer. Le Nord est occupé par le célèbre massif du Mercantour, massif cristallin où dominent les gneiss. Il se prolonge vers le sud par les alpes niçoises qui constituent une enveloppe sédimentaire permienne et triasique descendant approximativement jusqu'au sud de Breil-sur-Roya côté oriental et jusqu'à Puget-Théniers à l'Ouest. Plus au sud dans les Préalpes, le relief régulièrement ordonné est-ouest paraît plus simple dans les secteurs du Cheiron et de l'Estéron où les épaisses assises sédimentaires jurassiques et crétacées frôlent les 1 800 mètres d'altitude. Au nord de Nice les Préalpes s'incurvent en une série de chaînons calcaires qui forment un arc de cercle. Le littoral, enfin, se partage entre plaines étroites qui battent des records de taux d'urbanisation et coteaux qui peuvent tout de même atteindre 600 mètres d'altitude.



Fig. 7a

Le bassin versant du Paillon, quant à lui s'étend sur 450 km² environ fortement accidenté (figure 7b). La colonisation de la plaine alluviale du Paillon a débuté depuis fort longtemps lors du développement de la ville de Nice qui est descendue progressivement de la colline du château ou de Cimiez vers cette zone marécageuse qui est le site de la vieille ville actuelle (SAINT SEINE (de), 1995).

Le Paillon est un fleuve côtier qui, après avoir traversé les quartiers Est de la ville de Nice, se jette dans la Méditerranée au centre de la Baie des Anges. Ce fleuve est caractérisé par un étiage très bas et persistant. Il a effectivement un lit large qui varie de 80 à 100 m, dans la majeure partie de son linéaire, favorisant ainsi l'évacuation de ses crues extrêmes. Avec un comportement torrentiel très accusé, ses crues sont certes rares mais leurs caractères soudains et violents ont toujours fortement impressionné les témoins. Son bassin est par ailleurs actuellement très boisé, ce qui atténue les effets de fortes crues.

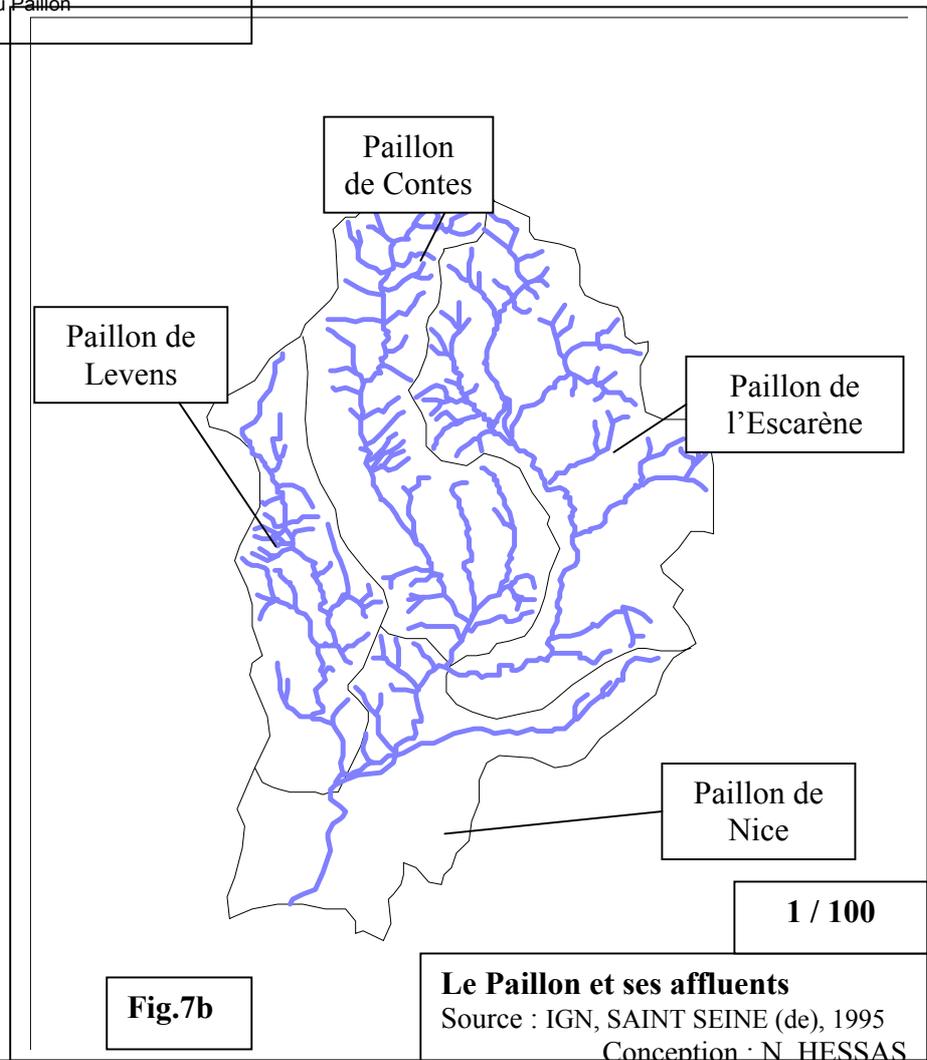
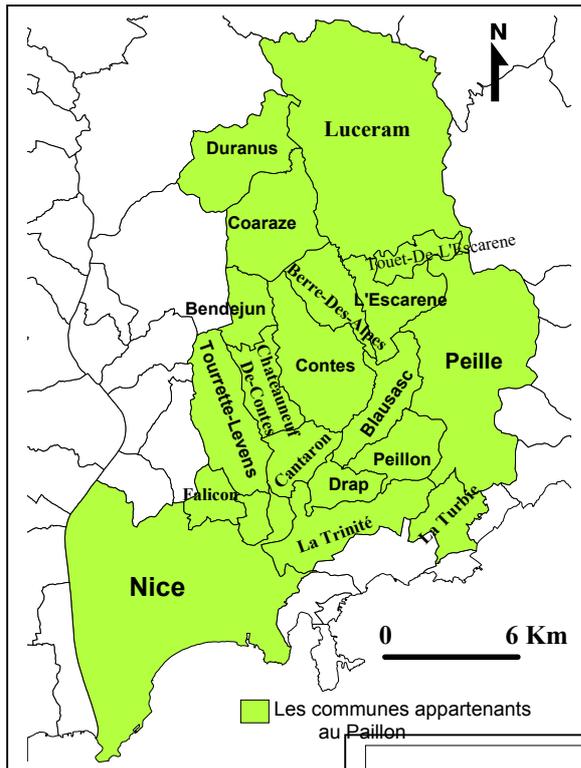


Fig. 7a et b : Le département des Alpes-Maritimes avec ses frontières. Le bassin versant, les sous bassins du Paillon avec les différentes communes qui les constituent, et les affluents du fleuve.
 Conception : N. HESSAS, 2005

Ce fleuve est en réalité constitué par un faisceau de plusieurs affluents appelés eux-mêmes «Paillon...» suivis du nom de l'agglomération la plus importante de leur bassin : Le Paillon de l'Escarène, le Paillon de Contes, le Paillon de Levens, le Paillon du Laghet et le Paillon de Nice.

Environ 60% du territoire de la vallée a déjà brûlé dans un passé plus ou moins récent, même les grandes formations arborées du type châtaigneraie, suberaie voire oliveraie n'ont pas été épargnées. La répartition surfacique des incendies est pratiquement similaire d'un versant à l'autre, mais le résultat apparent de l'incendie est différent en raison des conditions d'exposition, de pente et de sol. Les départs d'incendie se localisent préférentiellement en fond de vallée, à proximité des voies d'accès (routes nationales et départementales) et plus rarement à partir de zones inaccessibles. Des fréquences d'incendie cycliques ont pu être remarquées par le SDIS, certains incendies se renouvellent tous les trois-quatre ans sur des sites fréquemment incendiés, alors qu'ils ne se renouvellent que tous les six - sept ans sur des sites moins atteints par le feu, compte tenu des espèces recolonisatrices pyrophytiques qui se développent sur ces sites fortement perturbés.

Avant de décrire le département des Alpes-Maritimes, il serait nécessaire de citer les risques majeurs auxquels il est confronté (figure 8).

Tableau 4 : Les Alpes-Maritimes face aux risques majeurs

Séismes	Zone de sismicité II
Transport de matière dangereuse	Avec enjeu humain
Industriel	Avec enjeu humain
Feux de forêts	Avec enjeu humain
Mouvements de terrain	Avec enjeu humain
Inondations	Avec enjeu humain

Source : Prim.net, 2003

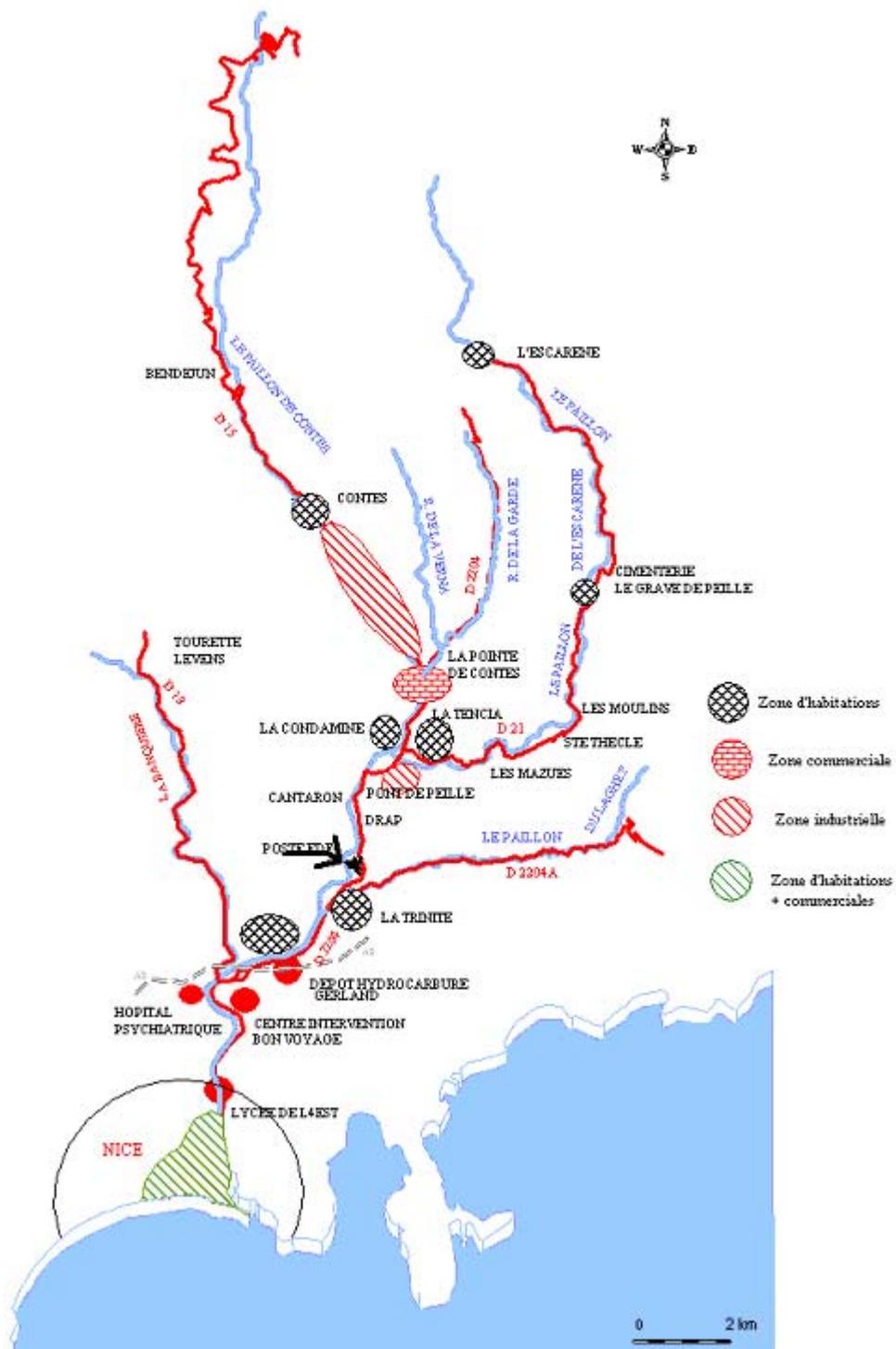


Fig. 8 : Les Paillons secteurs à risques

Conception : N. HESSAS

Source : Service Prévision Logistique, 1993

2-Caractéristiques physiques du bassin versant

Le risque d'incendie de forêt dépend de nombreux facteurs. Les facteurs météorologiques (vent, sécheresse prolongée), écologiques (teneur en eau, inflammabilité et combustibilité des formations végétales) et topographiques (relief accidenté) vont favoriser l'éclosion puis la propagation du feu. L'analyse du risque peut être alors appréhendée avec l'étude de ces différents paramètres sur le bassin versant du Paillon et sur tout le département des Alpes-Maritimes.

2-1-Topographie, un relief escarpé

Les caractéristiques topographiques de chacun de ces Paillons sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 5: Caractéristiques topographiques des sous-bassins du Paillon

	Le Paillon de Nice	Le Paillon de l'Escarène	Le Paillon de Contes	Le Paillon du Laghet	Le Paillon de Levens
Superficie en km²	246	93	72	22	41
% superficie totale	100 %	40 %	30 %	9 %	17 %
Longueur en km	28	19,5	16	9,3	15
Coefficient de Gravelius Kc =0,28 P/ A P périmètre, A surface	1,25	1,56	1,52	1,26	1,54
Point culminant en NGF	Cime de Rocca Serra 1540 m NGF	Cime de Rocailon 1440 m	Cime de Rocca Serra 1504m NGF	Mont Agel 1148 m NGF	Cime de Ferion 1350m NGF
Pente moyenne du bassin versant	5,3 %	6,9 %	8,7 %	11,6 %	8,7 %

Source : SAINT SEINE (de), 1995

De ces données, il ressort principalement le caractère compact de ce bassin versant au relief accidenté qui favorise en cas d'incendie une rapide propagation d'un feu et une rapide concentration des eaux de ruissellement. L'incendie est alimenté lorsque le milieu naturel présente un certain nombre de facteurs tels que la pente, l'exposition aux vents dominants, le type de végétation et son état de dessèchement.

2-2-Principales structures géologiques du bassin versant

Les Alpes-Maritimes sont situées à la terminaison méridionale de l'arc Alpin. Elles constituent une chaîne assez étroite rattachée à l'Ouest aux reliefs des chaînons subalpins de Haute Provence, bordée à l'est par la plaine du Pô. Ce rivage méditerranéen constitue une limite oblique au sud.

La structure géologique majeure est représentée par le synclinal de Contes qui s'étire entre Coaraze et Vernéa. Cette disposition mime un empilement « d'assiettes » et explique la disposition en auréoles très visibles sur la vue en plan des différents croissants, du centre vers l'extérieur: oligocène, puis Eocène, Crétacé et enfin Jurassique (BORCHIELLINI, 2002).

L'assise Jurassique ceinture presque complètement la structure synclinale par une suite d'écaillés anticlinales périphériques.

- Le rebord occidental correspond à l'anticlinal majeur du massif du Férion.
- Le rebord méridional est formé par l'anticlinal Jurassique du plateau Tercier.
- La bordure nord fortement replissotée présente 3 petits synclinaux (Escarène, Touët, Brauès)

Les principales modifications de la structure concernent le littoral et les basses vallées fluviales, en relation avec les nombreuses fluctuations du niveau marin d'ordres tectoniques et climatiques (glaciation) qui se sont succédées au cours du Pliocène et du Quaternaire. Le réseau de drainage s'est adapté à l'alternance régulière de régressions et de transgressions marines par des périodes successives de creusements et de remblaiements. Le remplissage ultérieur de ces sur-creusements est assuré par les dépôts alluviaux des basses vallées littorales (Paillon, Var, ...).

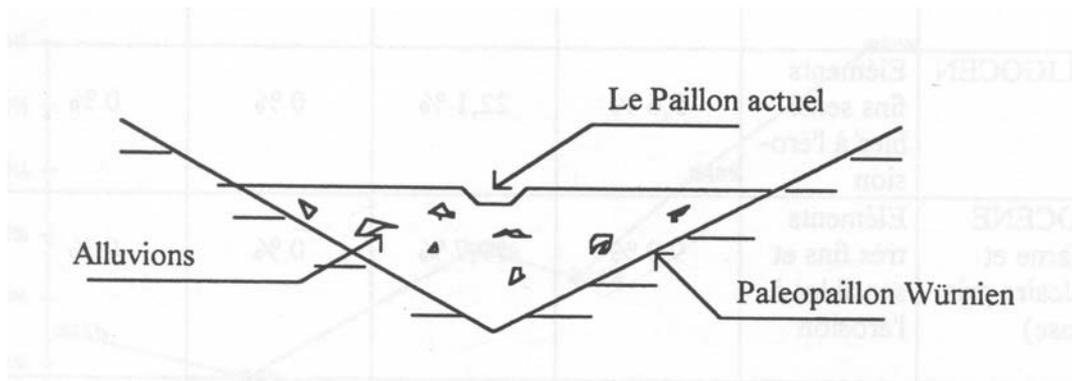


Fig. 9: Géométrie relative de remplissage des dépôts alluviaux

SAINT SEINE de, 1995

La sensibilité du sol à l'érosion s'explique par les marnes du Crétacé qui couvrent 54 % de la superficie totale du bassin (voir tableau n° 5) et contribue fortement au remplissage de ces vallées en graviers et galets justifiant de ce fait leur nom de Paillon qui étymologiquement, signifie « torrent de pierre ».

2-3-Hydrogéologie: caractères géomorphologiques des sous bassins versant du Paillon

L'intercalation dans la série géologique de plusieurs horizons étanches détermine des niveaux aquifères distincts et bien différenciés.

Les principales formations imperméables sont les suivantes :

- les marnes argileuses du Trias supérieur;
- les marnes Cénomaniennes (crétacé moyen);
- les marnes Priaboniennes (Eocène supérieur).

Les formations aquifères correspondent à plusieurs types de perméabilités :

- une perméabilité de type karstique dans les calcaires du jurassique et du Lutétien (Eocène moyen) où les circulations s'effectuent dans des réseaux évolués et de grande capacité;

- une perméabilité fissurale dans le crétacé supérieur et l'oligocène où les écoulements sont guidés par des réseaux de fissures et donnant lieu à des circulations moins hiérarchisées;
- une perméabilité de pores s'est développée par le remplissage des alluvions dans les vallées principales. Les éboulis de pente présentent fréquemment ce type de perméabilité.

Le pourcentage de couverture en surface de ces différentes formations ainsi que leurs caractères géomorphologiques sont synthétisés dans le tableau n° 6.

Tableau 6: Caractères géomorphologiques des sous-bassins versant du Paillon

Catégorie	Caractère géomorphologique	Paillon de l'Escarène BV = 93 km ²	Paillon de Contes BV = 72 km ²	Paillon de Levens BV=41km ²	Paillon de Laghet BV = 22 km ²	Paillon de Nice BV = 246km ²
OLIGOCENE	Eléments sensibles à l'érosion	5,6 %	22,1 %	0 %	0 %	8,8 %
EOCENE Marne et calcaire gris (rose)	Eléments très fins et sensibles à l'érosion	9,9 %	19,7 %	0 %	0 %	9,7 %
CRETACE Marno-calcaire Marne gris noir (vert)	sensibles à l'érosion Eléments fins graviers et galets	58,5 %	43,3 %	49,7 %	69,3 %	53,7 %
JURASSIQUE calcaire et dolomie (bleu)	Très résistants à l'érosion	22,1 %	9,5 %	41,5 %	30,7 %	22,9 %
QUATERNAIRE	Granulométrie variée sensible à l'érosion	4 %	5,2 %	8,8 %	0 %	4,6 %

Source : SAINT SEINE (de), 1995

Par rapport à la formation géologique majoritaire que constitue le Crétacé, les sous-bassins du Paillon se différencient, vis-à-vis de leur réponse hydrologique, par leur pourcentage en formation Jurassique. Cette dernière formation géologique leur confère une réponse de type karstique en « tout ou rien » : forte capacité de rétention initiale du réservoir. Le Paillon de Levens sera donc très fortement influencé par cette formation et dans une moindre mesure le Paillon de l'Escarène.

La composante Jurassique du bassin de l'Escarène peut contribuer à la concomitance des crues entre le Paillon de l'Escarène et celui de Contes lors de fortes précipitations qui peuvent engorger complètement le réseau karstique et minimiser le temps de réponse du bassin de l'Escarène.

3-Etude climatique de la région : les différents paramètres intervenant dans l'éclosion et la propagation du feu

Les paramètres météorologiques tels que les précipitations, la température, l'humidité de l'air, le vent et l'ensoleillement influent d'une part sur la teneur en eau des végétaux mais ils constituent également des facteurs naturels d'éclosion de feux.

Selon JULIAN (1978), les conditions climatiques qui règnent dans cette vallée sont du type méditerranéen. Il existe des influences climatiques exogènes de part et d'autre de la vallée, elles sont continentales vers l'ouest et littorales vers l'est. Ces particularités climatiques additionnées au relief montagneux engendrent une répartition biogéographique spécifique des espèces végétales.

3-1-Rayonnement et insolation : clarté du ciel et luminosité de l'atmosphère, les attributs du climat méditerranéen, constituent sans doute l'image la plus signifiante du département, un facteur de dessèchement des végétaux et de propagation du feu

La méridionalité des Alpes du sud s'exprime par l'intensité de l'insolation et par les fortes valeurs du rayonnement. A Nice, le rayonnement total en été est de 95 kcal/cm², il est de 38,2 kcal/cm² en hiver. L'insolation dépasse une durée annuelle de 2 750 heures dans toutes les stations de la Côte d'Azur (Nice 2 778 h, Menton 2 767 h) (JULIAN, 1978). Ce qui explique le dessèchement des végétaux et la vitesse de propagation du feu. L'inflammabilité des végétaux rend compte de la facilité avec laquelle ils peuvent s'enflammer quand ils sont exposés à une source de chaleur. Le calcul du délai et de la fréquence d'inflammation permet de déterminer une note d'inflammabilité pour chaque espèce. Elle est faible pour l'arbousier, forte pour la bruyère arborescente, le chêne vert et le pin d'Alep. La température de l'air est directement corrélée avec l'intensité et la durée du rayonnement et de l'éclairement. Il n'est donc pas surprenant que la modification des températures intenses d'une forêt, de la surface

de canopée jusqu'au sol, obéisse au même gradient décroissant que le rayonnement et l'éclairement. Une grande partie du rayonnement est absorbée au niveau des couronnes, avec dégagement de chaleur (absorption et stockage = AS) et diffusion thermique ralentie. Chacune des strates du peuplement, de haut en bas, dispose de moins d'énergie thermique à absorber et à stocker. Sur la surface nue, l'absorption et le stockage de chaleur (c'est-à-dire le réchauffement de substances solides, liquides et gazeuses : terre, eau, air) s'effectuent à la surface du sol.

La conductibilité thermique d'un sol dépend en partie de sa teneur en eau, mais également de sa propre constitution. De nombreux sols humides stockent longtemps la chaleur. Les sols chauds et secs se réchauffent fortement, mais refroidissent tout aussi vite. A la surface d'un sol sableux nu très exposé, les écarts journaliers de températures peuvent approcher les 60°C.

En résumé l'ensoleillement mesure l'énergie solaire annuelle reçue par une parcelle, il est répartie en 5 classes :

- très faible : 1
- faible : 2
- moyen : 3
- fort : 4
- très fort : 5

L'ensoleillement dans le département des Alpes-Maritimes se situe à un très bon niveau, avec toute fois une petite faiblesse estivale par rapport au littoral Varois (KESSLER et CHAMBRAUD, 1990).

3-2-Températures: action directe sur l'inflammabilité du combustible

La température est un facteur climatique, qui a un rôle considérable dans la répartition de la faune et de la flore. Selon JULIAN (1978), les températures des fonds de vallée et celles des adrets sont différentes à altitudes égales.

La température et l'humidité de l'air ont une action directe sur l'inflammabilité du combustible et il apparaît évident qu'une température élevée du sol minéral entraîne une forte

évaporation. De plus en cas de canicule persistante le refroidissement nocturne des sols n'est pas suffisant, la rosée faisant défaut. C'est l'une des raisons qui expliquent que le feu puisse se déclencher ou couvrir longtemps sous la cendre après incendie de forêt. La surchauffe peut infliger des dégâts non seulement aux sols, à la microfaune et aux racinelles, mais aussi aux parties aériennes des plantes (OTTO, 1998).

Tableau 7: Températures moyennes minimales et maximales, année 2000

mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
m	3,4	7	8,5	10,8	16,2	10,9	19,5	21,7	13,30	7,3	7,4	-4,9
M	7,7	13,6	15,	16,3	23,3	26,9	27,5	29,3	26,2	20,2	15,2	9,3
$\frac{M+m}{2}$	5,55	10,3	11,75	13,55	19,75	18,9	23,5	25,50	19,75	13,75	11,30	2,20

Source : Météo France, 2000

- m est la moyenne des températures minima par mois exprimées en degré Celsius.
- M est la moyenne des températures maxima par mois exprimées en degré Celsius.
- $\frac{M+m}{2}$ est la moyenne mensuelle des températures.

Avec plus de 3000 mètres de dénivellation entre le massif du Mercantour et la côte, il s'agit d'un département très contrasté sur le plan des températures. L'amplitude reste toujours modérée, et les jours où le thermomètre, indique plus 30°C sont rares, seulement trois jours par an. Les points chauds de l'été c'est à dire la température maximale observée dans les Alpes-Maritimes est pour le mois de juillet à Puget – Theniers de 31,8°C, où l'on dénombre 130 jours de chaleur par an. Parmi les stations situées à une altitude d'au moins 1000 m la plus chaude est Saint – Martin – Vesubie (KESSLER et CHAMBRAUD, 1990). Une forte probabilité d'incendie est possible après des années de sécheresse, sur des stations déjà sèches elles- mêmes occupées par des résineux qui s'enflamment facilement et dégagent une forte chaleur lors de la combustion.

3-3-Gel, un faible impact

A l'étage méditerranéen, le gel ne devient notable et sélectif pour les plantes que dans les fonds de vallée ou à des altitudes supérieures à 2 000 m. Le nombre de jours de gelée varie de 12 à 66. A Nice, il ne gèle en moyenne que deux jours par an. On dénombre 95 jours de gel

à Isola (875 m) et seulement 92 à Valeblorc, plus élevée mais située sur un adret. A ces altitudes, le gel peut devenir continu sur 24 heures et même, lors des vagues de froid, sur plusieurs jours. Les stations situées respectivement au sommet à l'étage montagnard (1 510 m saint Dalmas- le – Selvage) et à la base de l'étage subalpin (Auron, 1 610 m) ont 119 et 129 jours de gel annuel (JULIAN, 1978). Les gelées matinales à Sospel (104 jours par an) sont plus nombreuses que dans toutes les plaines de l'est de la France, et cette localité n'est pourtant située qu'à une altitude de 350 mètres (KESSLER et CHAMBRAUD, 1990). Selon les données de météo France 1966-1990 à Saint Etienne de Tinée le nombre de jours de gel par an peut atteindre 130 et en hiver les précipitations neigeuses sont abondantes. Les gelées sont au contraire presque exceptionnelles à Antibes, Nice ou Monaco, mais leur apparition peut alors causer de considérables dégâts dans la végétation locale, palmiers et aloès n'appréciant pas du tout les vagues de froid. Un pied mort après les gelées, réagit à la moindre étincelle.

3-4-Précipitations: un régime de pluies méditerranéen, période hivernale froide et pluvieuse, période estivale chaude

Les points faibles du climat des Alpes-Maritimes sont la pluviosité et la forte humidité, l'été, en bordure côtière. Abondantes dans l'arrière pays, les pluies sont certes plus faibles sur la Côte d'Azur, mais encore assez importantes par rapports aux côtes méditerranéennes. Toutes les stations des Alpes-Maritimes reçoivent plus de 800 mm de précipitations. 80 à 90 % reçoivent plus de 1 000 mm; les stations de montagnes plus de 1 400 mm et certaines une tranche de l'ordre de 1 800 – 2 000 mm (JULIAN, 1978). Pour une période allant de 1950 à 2000 couvrant 51 années, l'automne et l'hiver se caractérisent par d'importantes précipitations. C'est une caractéristique du climat méditerranéen qui comprend une période hivernale froide et pluvieuse et une période estivale chaude.

Le taux d'humidité est en juillet de 56 % à Nice contre seulement 49 % à Toulon, et 39 % à Marignane. Et si le brouillard est presque inconnu sur la côte niçoise une légère brume brouille souvent l'horizon (KESSLER et CHAMBRAUD, 1990). Les précipitations jouent un rôle prédominant dans la teneur en eau des végétaux. Leur effet varie de façon significative en fonction de leur durée, de leur période, de leur quantité ainsi que des types de combustibles. Mais cet effet ne dure pas. Il peut être rendu caduque par deux ou trois heures

d'ensoleillement. L'effet bénéfique de fortes précipitations hivernales peut ainsi être annulé par un printemps et un été longs et secs. Selon SAINT SEINE (de), (1995) l'échantillon des données pluviométriques journalières est relativement important sur le Paillon en nombre de postes et en années d'observations (minimum de 30 années).

Les variations des lames d'eau moyennes annuelles calculées sur plusieurs années pour l'ensemble du bassin du Paillon sont représentées dans le graphe suivant. A noter cependant que la lame d'eau calculée correspond à la pluie observée au poste de Nice.

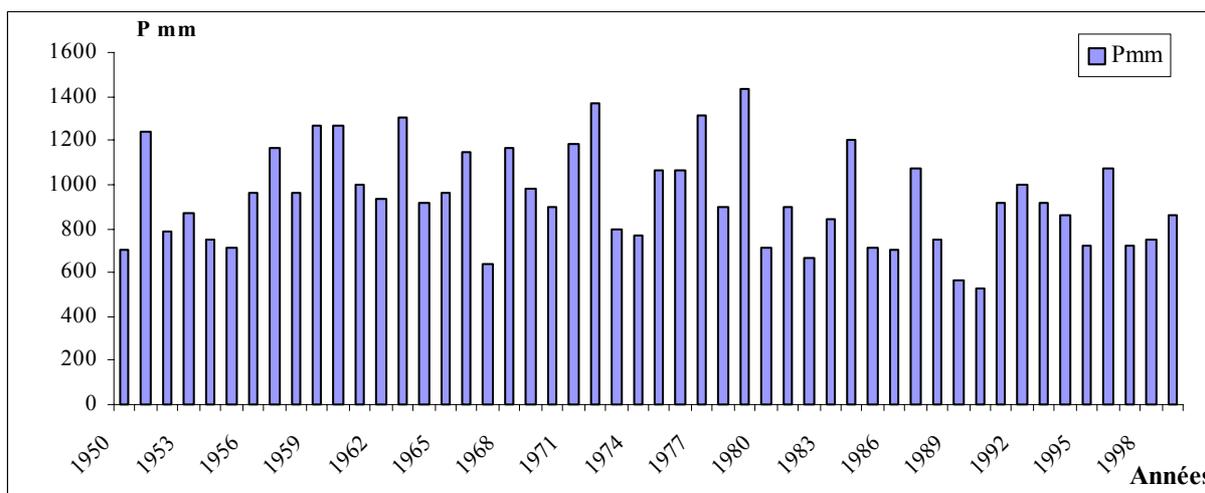


Fig. 10 : Répartitions des précipitations annuelles en millimètres de 1950 à 1999.

Source : Bulletin Météo France
Réalisation : N. HESSAS, 2005

Cette figure indique les lames d'eau annuelles précipitées sur le bassin versant (pour la détermination des pluies sur le bassin). Cette figure témoigne de l'extrême irrégularité inter annuelle des précipitations. Mais il apparaît aussi que les années 1950, de 1952 à 1955, 1967, 1980 et de 1989 à 1990 constituent une période sèche. Entre 1961 et 1970, il a plu en moyenne 920 mm/an. Entre 1971 et 1980 environ 1040 mm/an et entre 1981 et 1990 il n'a plu en moyenne que 770 mm/an. Les précipitations annuelles apparaissent particulièrement déficientes ce qui explique la présence d'incendies tous les ans sur ce bassin versant.

La figure ci-jointe visualise la variation annuelle de la moyenne des pluies mensuelles observées sur l'ensemble du bassin.

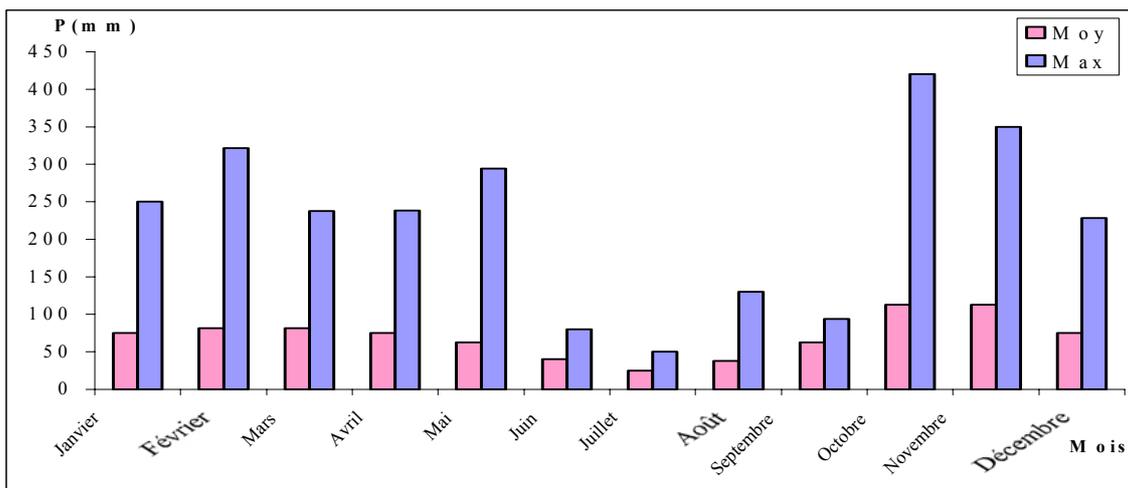


Fig. 11 : Précipitations moyennes mensuelles de 1949 – 1992

Source : Wordclimate, 1993
Réalisation : N. HESSAS, 2005

De l'analyse de ces données, nous pouvons déduire les observations suivantes:

- il y a une période pluvieuse qui s'étend d'octobre à mai; la période sèche correspondant au mois de juin, juillet et août. On remarque une grande différence de quantité entre le mois de septembre où il tombe en moyenne 80 à 85 mm d'eau et les mois d'octobre et novembre qui se démarquent très nettement avec environ 120 mm en moyenne;
- comme pour les pluies annuelles, il n'y a pas vraiment de variations importantes des pluies mensuelles observées. A l'échelle du mois, le bassin du Paillon est donc arrosé de façon uniforme.

Toutes ces considérations reliant le régime des pluies au type climatique ont été établies à partir d'une moyenne sur 30 ans, et peuvent être mises en défaut sur une année particulière. Les variations de pluviosité d'une année à l'autre sont parfois importantes, aussi bien en quantité globale qu'en ce qui concerne la répartition mensuelle. C'est ainsi qu'à Nice, en décembre 1980, il n'est pas tombé une seule goutte, alors que ce mois est en moyenne assez arrosé sur la Côte d'Azur (KESSLER et CHAMBRAUD, 1990).

3-5-Enneigement important dans les étages supérieurs

La prédominance des précipitations en hiver donne aux Alpes-Maritimes un enneigement honorable au-dessus de 1400 – 1500 m.

Selon LIEUTAUD (2001), il peut geler sur les bords de la Méditerranée et la neige peut recouvrir les galets de la baie des Anges à Nice comme en 1985, en plein carnaval.

3-6-Vents : fréquence des vents secs et sécheresse de l'été, facteurs de propagation du feu

On rencontre dans le département des Alpes-Maritimes un vent froid et desséchant, il fait chuter les thermomètres de plusieurs degrés et accentue les rigueurs de l'hiver. Par temps de mistral, il souffle avec une direction Nord-Nord-Ouest, de l'ordre de 100 à 150 jours par an. L'atmosphère lui doit sa luminosité et le sol son aridité. Il accentue la sécheresse en été ; au printemps, il provoque des gels au lever du jour mettant en péril les premiers bourgeons de la vigne et des arbres fruitiers, retarde la poussée des légumes des plaines,.... Le mistral souffle surtout de fin novembre aux premiers jours d'avril (février et mars sont les mois à forte fréquence du vent du Nord-Ouest). Sa force normale varie de 50 à 100 km / h (TIRONE et ELLERKAMP, 2003).

3-7-Synthèse des principaux facteurs climatiques : le climat est certainement un puissant facteur d'unité de l'espace régional

L'établissement d'une synthèse des principaux facteurs climatiques fait appel à l'étude de certains critères et à des notions fondamentales. Les températures et les précipitations constituent les deux groupes de paramètres climatiques fondamentaux qui caractérisent les milieux, l'ensoleillement étant en règle générale bien corrélé avec les températures. Dans le cas de la présente étude nous avons retenu le diagramme ombrothermique et le climagramme pluviométrique d'Emberger.

3-7-1-Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique sert à mettre en évidence la période de sécheresse et son intensité dans une région donnée. Bagnouls et Gausсен (1953) ont défini cette période comme étant une période où les précipitations (P) données en millimètres sont inférieures ou égales au double de la température moyenne exprimée en degré Celsius (T).

$$P \leq 2 T$$

La période sèche est une succession de mois secs. Les mois de l'année sont portés en abscisses et en ordonnées les températures moyennes et les pluviométries mensuelles avec une échelle double pour les premières. On construit ainsi une courbe ombrothermique. Ce diagramme signifie que lorsque les précipitations sont inférieures à deux fois la température, le mois est considéré comme biologiquement sec: les plantes souffrent.

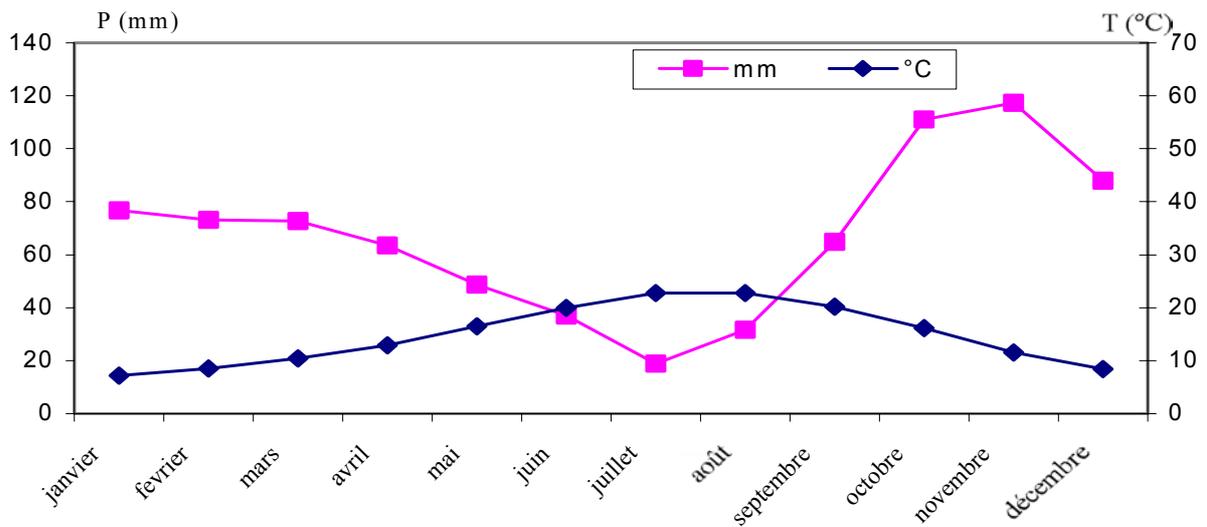


Fig. 12 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson, de Nice 2000

Source : www.worldclimate.com

Réalisation : N. HESSAS

La durée de la période sèche, observée pour l'année 2000 s'étale sur une période de l'année du mois de juin jusqu'au mois de septembre (Figure 12). La moyenne des précipitations à Nice atteint ou dépasse les 800 mm mais ces pluies tombent durant un laps de temps court et les périodes d'averses brutales durant l'été n'ont pas le même impact psychologique sur le touriste.

En région méditerranéenne, parmi les multiples contraintes que le climat exerce sur la végétation, la sécheresse est le principal facteur pour le déclenchement du feu. Elle résulte comme le feu de la combinaison de deux composantes climatiques fondamentales : les précipitations et les températures. La région de Nice ou le département des Alpes-Maritimes

ont le handicap d'avoir un été à la fois chaud et sec, alors que l'hiver n'est doux que dans les zones côtières.

3-7-2-Quotient pluviométrique d'Emberger

La sécheresse et le froid sont donc les principaux facteurs limitant pour la végétation méditerranéenne. C'est pour cette raison que des paramètres climatiques, liés aux précipitations et aux températures (ou à l'altitude, dont ces dernières dépendent fortement), ont été choisis comme bases des principales classifications bioclimatiques des espaces boisés méditerranéens.

Emberger (1952) a proposé un indice climatique visant à traduire un écosystème méditerranéen en fonction de la vie végétale

$$Q = \frac{1000 P}{(M-m) (M+m)/2}$$

Q est le quotient d'Emberger.

P représente les précipitations annuelles exprimées en mm.

M est la moyenne des températures maxima du mois le plus chaud.

m est la moyenne des températures minima du mois le plus froid.

M et m sont exprimées en degré Kelvin.

Dans le tableau suivant on retrouve la valeur du quotient d'Emberger de la région.

Tableau 8 : Valeur du quotient d'Emberger du bassin versant du Paillon

P	m	M	M-m	(M+m)/2	Q
955,63	268,26	302,46	34,2	285,36	98,31

N. HESSAS, 2005

Le quotient d'Emberger, calculé pour Nice, est de 98,31 ; ce résultat correspond à l'étage bioclimatique subhumide à hiver très froid (figure 13). Alors que DOUGUEDROIT (1972) classe comme biologiquement humide ce même milieu. Les stations de climat purement méditerranéen se différencient des stations de montagne par la valeur des minima du mois le plus froid.

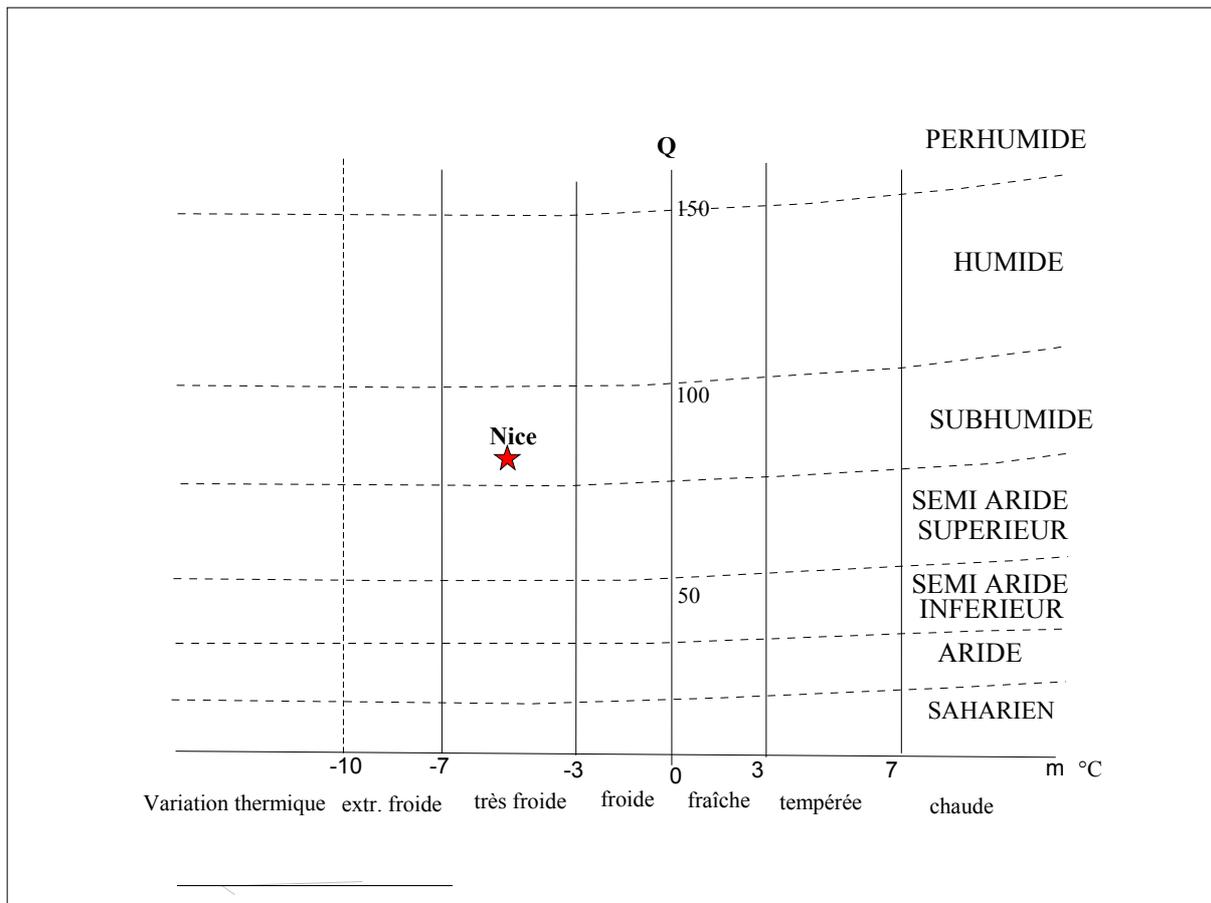


Fig. 13 : Climagramme d'Emberger, positionnement de Nice

Source : QUEZEL, 1976

Réalisation : N. HESSAS

Dans les Alpes-Maritimes, la présence de la Méditerranée se fait indubitablement sentir mais le département connaît une pluviométrie relativement importante. Sur le littoral, le climat comporte toutes les caractéristiques du climat méditerranéen : hivers particulièrement doux qui ont fait la réputation de la côte d'Azur, pour exemple Antibes, en hiver, la température la plus basse est de 8,8 en janvier. L'été est chaud mais supportable avec 23,3°C et une sécheresse estivale très marquée puisqu'on n'enregistre pour cette période que 77 millimètres de précipitations. Cependant le total annuel de 819 mm est relativement élevé pour le Midi méditerranéen français d'autant que très vite ce total augmente à l'intérieur des terres pour dépasser par exemple 1 000 mm à Vence pourtant assez peu éloignée du littoral. A l'extrémité nord du département où les altitudes dépassent fréquemment 2 000 mètres, le climat est franchement montagnard. L'exemple de Saint -Etienne- de Tinée à 1 610 mètres d'altitude indique que l'hiver est rigoureux, avec une température moyenne en janvier inférieure à zéro.

Entre Méditerranée et haute montagne se trouve un climat de transition où les influences méditerranéennes s'estompent progressivement vers le nord. Globalement les précipitations sont plus abondantes dans la partie nord du département: selon Météo France 1966-1990, 1 361 mm à Andon, par exemple où en outre les hivers sont déjà très rigoureux avec à peine 1,3° C en janvier. A l'autre bout du département Breil sur Roya offre un autre de ces climats de transition. Située à seulement 320 mètres d'altitude, la commune connaît des précipitations supérieures à un mètre, les hivers y sont assez froids avec 5,8°C en janvier et quelques 80 jours de gel mais le déficit pluviométrique en été est marqué et, pendant cette période, la chaleur peut être importante puisque la moyenne en juillet monte à 22°C.

4-Répartition de la couverture végétale dans le département des Alpes-Maritimes

Certains paramètres comme la structure (combinaison des strates, de la hauteur et du recouvrement), la biomasse et la composition ont une action directe sur le combustible et l'inflammabilité de la végétation.

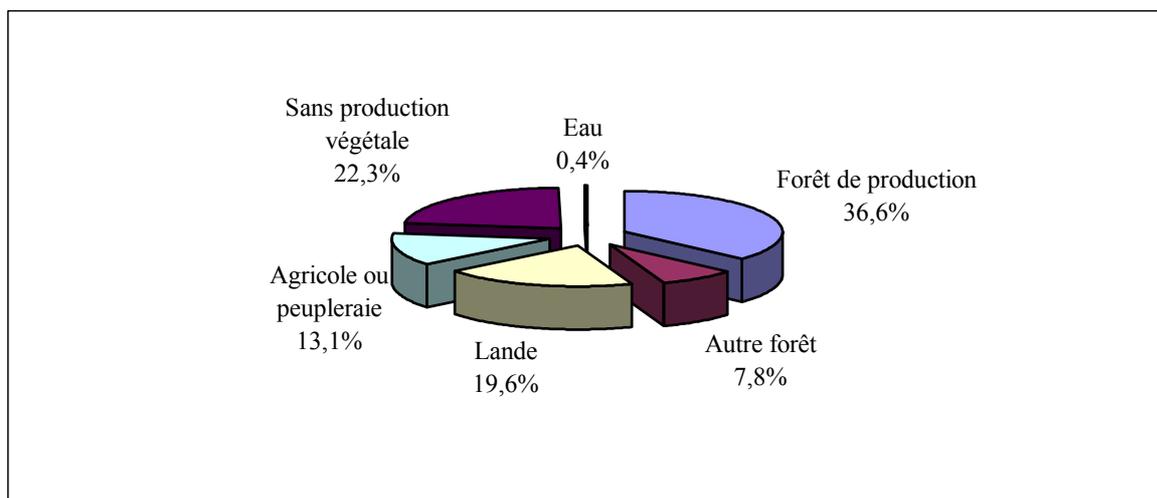


Fig. 14 : Surface du territoire par couverture et utilisation du sol du département des Alpes-Maritimes.

Source : www.ifn..2003
Réalisation : N. HESSAS

Selon l'IFN (2003), la surface de la couverture végétale des Alpes-Maritimes et l'utilisation du sol est de 429 258 hectares, par contre la surface totale de la forêt et son taux de boisement est de 190 893 hectares soit 44,5 %. La forêt de production occupe la première

place avec 157 058 hectares soit 36,6 %. Les formations subforestières présentent une surface de 214 127 hectares soit 49,9 %.

Tableau 9 : Surfaces du territoire par couverture -utilisation du sol et classes de propriétés

Couverture- utilisation du sol	Terrains domaniaux (ha)	Terrains communaux (ha)	Terrains privés (ha)	Total tous terrains (ha)
Bosquet	0	0	1 595	1 595
Boqueteau	0	35	1 401	1 436
Bois	9 925	42 709	10 1393	154 027
Autre formation boisée	3 091	6 916	23 828	33 835
Lande	2 824	7 129	74 577	84 530
Agricole ou peupleraie	1 299	1 975	53 062	56 336
Sans végétation	5 770	5 005	84 987	95 762
Eau	0	0	1 737	1 737
Total départemental	22 909	63 769	342 580	429 258

Source : www.ifn.fr, 2003

Les massifs des Alpes-Maritimes ont dans le passé, souffert d'une gestion peu prudente : surpâturage, exploitations arbustives, etc.... Selon l'IFN (2003) les forêts les plus riches contiennent cinq essences et plus et se trouvent, en France, à l'Est d'une ligne Rouen-Nice. La forêt niçoise se caractérise par une extrême diversité dans les conditions écologiques, climatiques et dans les essences. Certaines d'entre elles sont présentes depuis des temps immémoriaux: pin, chêne vert, chêne pubescent,... D'autres ont été utilisées pour des besoins « domestiques » (châtaignier au moyen âge), industriels (pin maritime au XIX^{ème} siècle) ou encore dans l'optique d'une restauration de terrains de montagne dégradés (épicéa, pin à crochet à la fin du XIX^{ème} début du XX^{ème}). Les dix essences les plus importantes sont le chêne pédonculé (*Quercus robur*), le chêne sessile ou chêne rouvre (*Quercus petraea*), le hêtre (*Fagus sylvatica*), le charme commun (*Carpinus betulus*), le frêne (*Fraxinus excelsior*), le châtaignier commun (*Castanea sativa*), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), l'épicéa commun (*Picea abies*), le bouleau (*Betula pendula*) et le sapin pectiné (*Abies pectinata ou alba*), soit surtout des feuillus. D'une manière générale, ces forêts de feuillus, et plus particulièrement les futaies, sont plus riches en essences que les forêts de conifères (respectivement 2,8 essences par placette en moyenne contre 2,1). Les forêts sont dominées par des taillis de chênes pubescents et de chênes verts (*Quercus ilex*) et de futaie de pins sylvestres ou de pins d'alep

(*Pinus halepensis*). On assiste aujourd'hui à une déprise agricole dans le secteur de montagne, augmentant la sensibilité au feu de ces espaces embroussaillés. Le développement autour des pôles d'activités entraîne un mitage très dommageable à la protection et à la remise en valeur de vastes espaces forestiers dégradés et constitue un facteur de risques d'incendies supplémentaires.

5-Environnement socio économique : Après l'exode rural, la forêt est aujourd'hui de plus en plus un espace ludique (ou de détente) et un cadre de vie pour les citadins

5-1- Changements de la végétation depuis 40 ans

Dans chaque pays du bassin méditerranéen, le contexte des incendies de formations végétales correspond à un épisode économique en déclin. A Nice, le phénomène est étroitement lié à un processus d'exode rural et à une mutation du système agricole. En région méditerranéenne française, l'évolution du contexte agricole depuis la seconde guerre jusqu'à nos jours s'est accompagnée d'une forte dynamique paysagère: une concentration des cultures dans les plaines et les zones les plus favorables, et un développement des landes et des bois dans les zones qui le sont moins. Cette déprise se traduit par un embroussaillage important et un développement des surfaces boisées. La terre fertile où poussaient les cultures exigeantes est de plus en plus colonisée par des groupements de chênes verts et du pubescents. Ainsi les accrues naturelles des bois s'ajoutent aux reboisements parfois plus anciens réalisés par l'Office National des Forêts sur des terres libérées par des agriculteurs. Selon l'IFN (2003), l'évolution du taux de boisement pour les périodes centrées sur 1984 et 1996 varie de -1,2 % pour le département de la Meurthe - et - Moselle à + 7,9 % pour les Alpes-Maritimes. La progression actuelle de la forêt se fait principalement par boisement spontané dans des régions touchées par la déprise agricole. A l'inverse, la forêt diminue dans les zones de grandes cultures. Les boisements se concentrent sur le pourtour méditerranéen et dans le Massif Central.

Malgré les reboisements, les bois sont actuellement peu exploités et servent essentiellement de bois de chauffage. Si leur valeur de production est faible, leur rôle de protection des sols et leur valeur paysagère sont importants. Ce développement des ligneux est de nature à augmenter le risque igné. Aux incendies estivaux s'ajoutent ceux de l'hiver liés à des dérapages de feux pastoraux qui se produisent de plus en plus du fait de

l'embroussaillage croissant du milieu. Quelle que soit la saison d'apparition de ces incendies, des conséquences graves peuvent s'ensuivre, notamment lorsqu'ils se développent sur des sols sensibles à l'érosion (COMBES, 1990 in LEOUFFRE et LECLERC, 1995). De tels types de sols sont fréquents dans les Alpes-Maritimes.

5-1-1-Causes de la régression et progression de la couverture végétale

Le bassin du Paillon a connu deux types de contextes: la régression puis l'expansion. Les causes de la régression de la forêt sont nombreuses telles que les guerres, le droit de « vaine pâture », les fournitures pour la marine à voile et les excès de toutes sortes dont l'exploitation (chauffage, charpente). La végétation est adaptée au stress hydrique estival ; elle est née du feu et est capable de se régénérer après le feu, à condition que la répétitivité de passage des flammes ne soit pas trop élevée. Mais dans ce dernier cas, si des incendies se produisent de façon rapprochée, les forêts naturelles de chênes verts se dégradent en garrigue, et les forêts de chênes lièges en zone cristalline laissent place au maquis. Et si les feux se répètent encore trop fréquemment, la pelouse s'installe, stade ultime de la dégradation et de l'appauvrissement floristique du milieu.

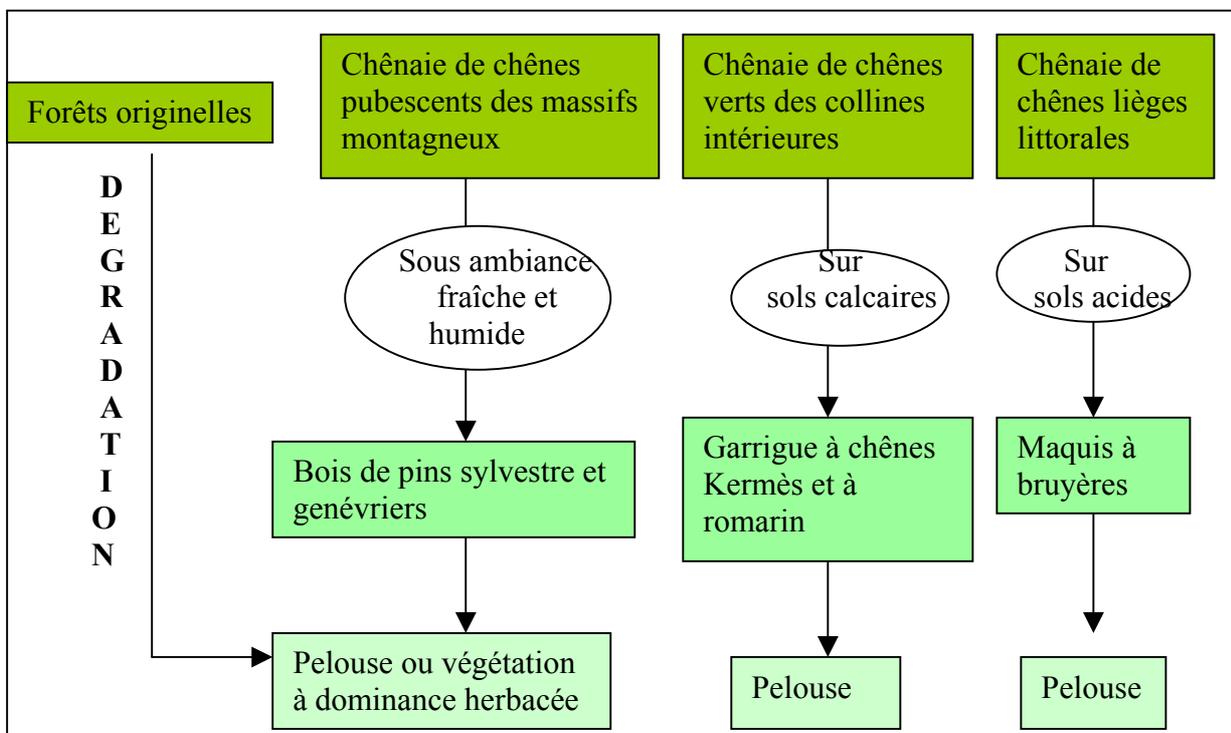


Fig. 15 : Evolution des forêts dans les massifs du département des Alpes-Maritimes, caractère méditerranéen décroissant.

Source : TIRONE et ELLERKAMP, 2003

Depuis le siècle dernier, le taux de boisement du bassin versant du Paillon a beaucoup progressé (figure 16).

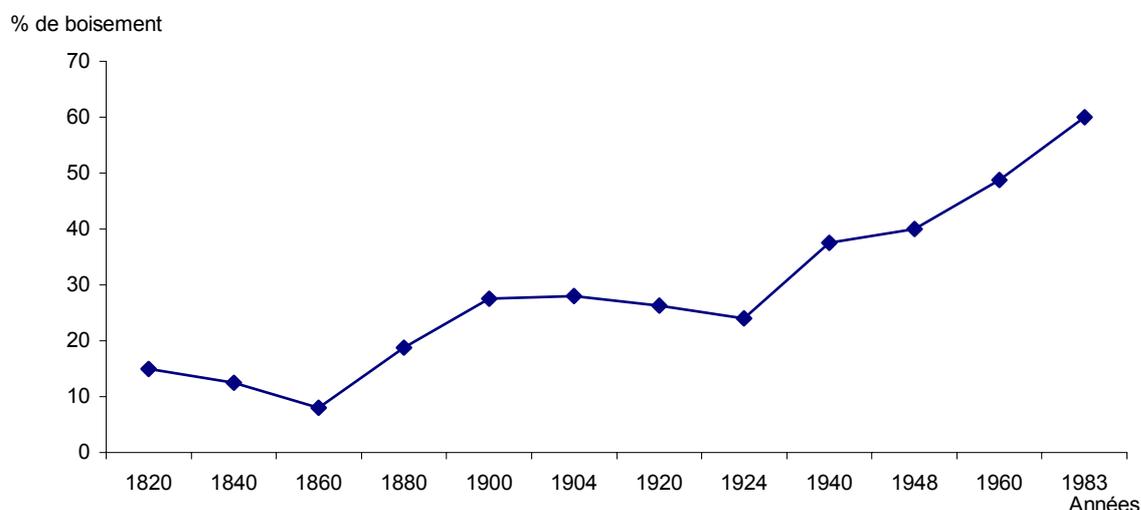


Fig. 16 : Taux de boisement du bassin versant du Paillon

Source : PIETRI + RTM Nice in SAINT SEINE (de), 1995

Après la guerre, il y a eu abandon progressif des zones rurales et réduction des troupeaux. D'autres facteurs sont intervenus dans l'installation de la végétation comme la modernisation des méthodes de chauffage et les facilités de communication. Plus de 60 % du bassin total du Paillon sont aujourd'hui couverts de forêts de pins ou de chênes pubescents. Avec la déprise agricole ce taux est encore en augmentation avec un effet bénéfique sur les crues, mais une vulnérabilité certaine aux incendies de forêt dont l'incidence hydrologique serait alors préoccupante. La structure de chaque sous-bassin du Paillon est représentée dans le tableau suivant:

Tableau 10 : Structure des sous bassins versant du Paillon.

Bassins	Sols rocheux	Garrigues roches +végétations arbustives	forêts	plaines
Nice	27%	7%	60%	6%
Contes	18%	5%	56%	11%
Escarène	13%	7%	76%	4%
Levens	42%	2%	50%	6%

Source : SAINT SEINE (de), 1995

Nous constatons que le bassin versant du Paillon est dominé par une forêt suivie par des sols rocheux. Par contre les plaines, les garrigues et la végétation arbustive sont faiblement représentées.

Sur le littoral des Alpes-Maritimes, la floriculture s'est beaucoup développée sur des terrains qui depuis un demi-siècle sont aussi recherchés par les promoteurs immobiliers et des conflits surgissent entre spéculateurs et horticulteurs (LIEUTAUD, 2001).

5-1-2-Le feu, véritable acteur socio économique

Ces collines et ces reliefs ont depuis toujours servi de refuge à la population. Si ces potentiels stratégiques ont été par la suite utilisés pour la construction de forts militaires, en particulier celui du mont Agel, ces richesses ont été très vite mises en valeur sous forme de cultures en terrasses. Ce bassin a été le secteur d'approvisionnement agro-alimentaire de la ville de Nice avec ses cultures maraîchères, céréalières, fruitières complétées par celles de la vigne ou des plantes à fibres textiles. L'oléiculture fut, au XIX^{ème} siècle, une source d'activité florissante avec ses 4 800 hectares recensés. L'élevage fut aussi à cette époque très répandu et les pâturages d'hiver achevèrent la disparition de la forêt.

L'abondance de banquettes ou restanques que découvrent les feux de forêt et qui couvrent les moindres collines et les flancs montagneux végétalisés témoignent de cette intense activité agricole du 19^{ème} et du 20^{ème} siècle. Les pratiques culturelles utilisant le feu sont anciennes, selon les propos de SIMI, 1981, la pratique du feu remonterait au néolithique. Cependant, d'une manière plus récente l'essartage et l'écobuage (techniques employées dans tout le bassin méditerranéen) permettaient de nettoyer une parcelle avant son ensemencement. Le feu n'était qu'une phase de ces pratiques culturelles, il laissait toujours place à un travail du sol et à une phase d'ensemencement. Ces deux techniques sont remplacées par un simple feu qui consume les végétaux sur pied, sans être suivi de la moindre intervention. Couramment utilisé aujourd'hui, il représente un moyen économique de réduire l'embroussaillage sur de grandes surfaces.

Plusieurs départements des Alpes du Sud (Alpes-Maritimes, Hautes-Alpes et Alpes-de-Haute-Provence) ont mis en place des cellules de brûlages dirigés (RIGOLOT, 1993). A la

saison suivante, les troupeaux sont envoyés pâturer les repousses d'herbes et d'arbustes qui ont profité de la fertilisation apportée par les cendres.

Les inconvénients majeurs de cette pratique concernent l'impact écologique, par la modification de la dynamique de la végétation, économique par l'augmentation du coût des moyens de lutte. De nos jours la forêt a repris ses droits; seule la plaine alluviale est sollicitée. La couverture du Paillon débute alors à la fin du XIX^{ème} siècle. Depuis l'extension de Nice se poursuit vers le nord dans la plaine alluviale du Paillon où un tissu industriel se développe sous forme de zones d'activités artisanales et industrielles. Le développement de l'ensemble de ces activités humaines et son taux d'occupation déjà important se traduisent par une forte pression foncière sur les lits majeurs et parfois sur le lit mineur du Paillon. Très tôt la plaine fût cultivée, cultures qui cèdent petit à petit la place aux habitations que ne pouvait plus contenir la vieille ville trop à l'étroit sur le rocher du château. L'engorgement du trafic routier de la ville de Nice et la nécessaire irrigation des nouveaux pôles conduisent les services publics à prévoir et réaliser de nouveaux axes routiers dans cette vallée (SAINT SEINE (de), 1995).

Plusieurs pertes économiques sont engendrées par les incendies dans les massifs forestiers. Le tableau suivant donne les dépenses enregistrées dans le département des Alpes-Maritimes depuis 2000 :

Tableau 11 : Coûts financiers des feux de forêts en période estivale dans le département des Alpes-Maritimes

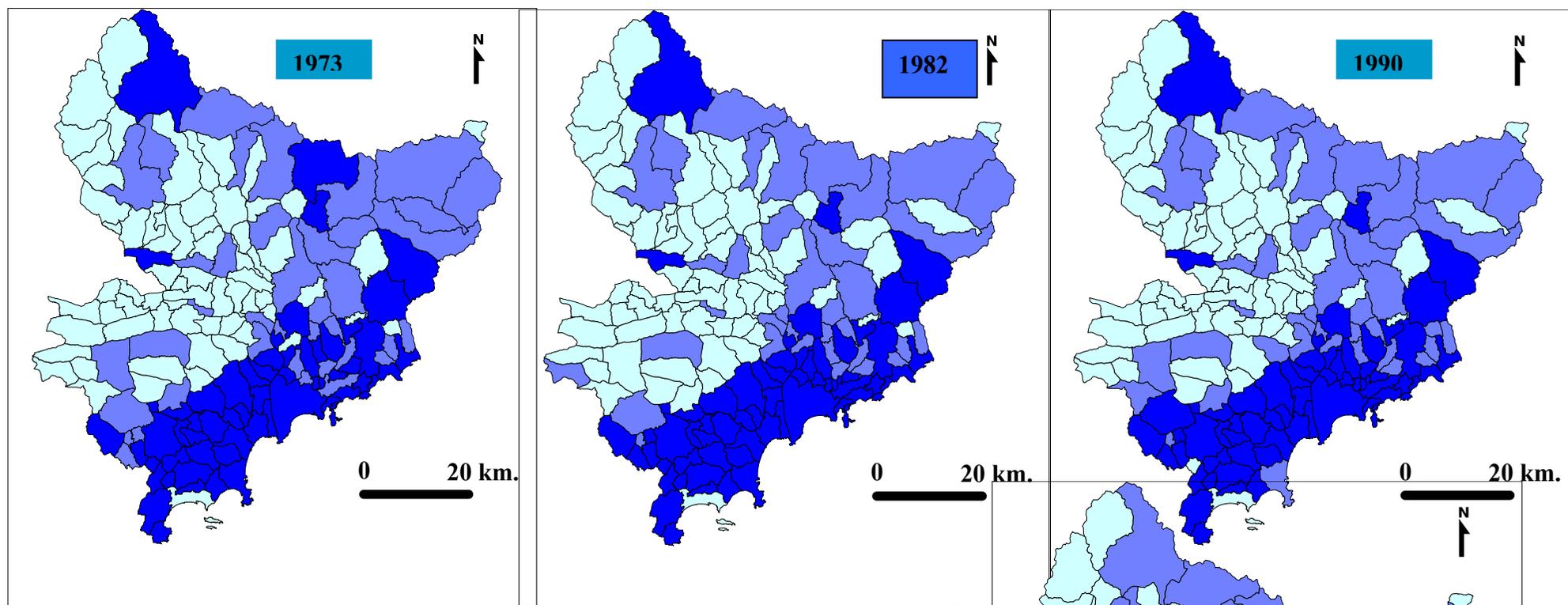
Années	Dépenses (Millions d'Euros)	Affectation
2000	2,4	20% Moyens aériens 20% Logistique matériels 60% Personnels
2001	2,6	
2002	1,9	
2003	5,5	

Com. Pers. par le service SDIS 06, 2003

Au total sur 4 ans 12,4 Millions d'Euros de perte dans la lutte sans compter le bois et d'autres facteurs qui suivent le feu. En 2003, 2 feux significatifs ont dévasté de grandes surfaces. A Cagnes-sur-Mer, le feu a brûlé en un jour une surface de 235 hectares, en milieu urbain et périurbain. La lutte a coûté 104 000 Euros. A Lucéram où le feu a duré pendant 3 semaines, ravagé 2 200 hectares de forêt proche des villages et le coût est de 700 000 Euros.

5-2-Répartition de la population résidente: évolution de l'occupation du sol, accroissement de l'urbanisation

Nice, capitale de la Côte d'Azur, est la 5^{ème} ville de France par sa population. Les villes du littoral, Menton, Nice, Antibes, Cannes et Grasse, rassemblent près de 94,5 % de la population totale de la Côte d'Azur. Grâce à son dynamisme démographique et notamment son pouvoir attractif, la Côte d'Azur enregistre une croissance de population de 0,44 % par an, contre 0,37 % pour le pays. L'accroissement de la population entraîne une consommation d'espace. En région Provence Alpes Côtes d'Azur, une récente étude de la DIREN a montré qu'en huit ans l'accroissement de 7 % de la population avait entraîné une augmentation de 22% de l'occupation. Cette croissance urbaine s'est faite sous forme de mitage, généralement dans les espaces forestiers. L'agglomération de Nice compte 888 783 habitants. Cette population est inégalement répartie entre les 163 communes qui composent ce territoire, ainsi Nice recense 343 100 habitants et Lieuche une trentaine. Deux présences, la mer et la montagne sous un ciel clément ont favorisé une dominante, le tourisme qui induit 64 000 emplois directs dans les Alpes-Maritimes. Les apports massifs de populations diverses, le développement notamment des industries de haute technologie (au 1^{er} rang dans l'économie du département, avec Sophia Antipolis et bien d'autres sites), Nice Côte d'Azur: 2^{ème} aéroport français, des services, ... etc., ainsi que la transformation de l'économie de hautes vallées (sports d'hiver), montrent une densité élevée de la population.



	1973	1982	1990	1999
	< 0,03 % (60)	< 0,03 % (70)	< 0,03 % (66)	< 0,03 % (62)
	0,03 – 0,11 % (39)	0,03 – 0,12 % (36)	0,03 – 0,12 % (40)	0,03 – 0,16 % (48)
	0,11 – 42,32 % (69)	0,12 – 38,15 % (62)	0,12 – 35,15 % (62)	0,16 – 33,78 % (58)

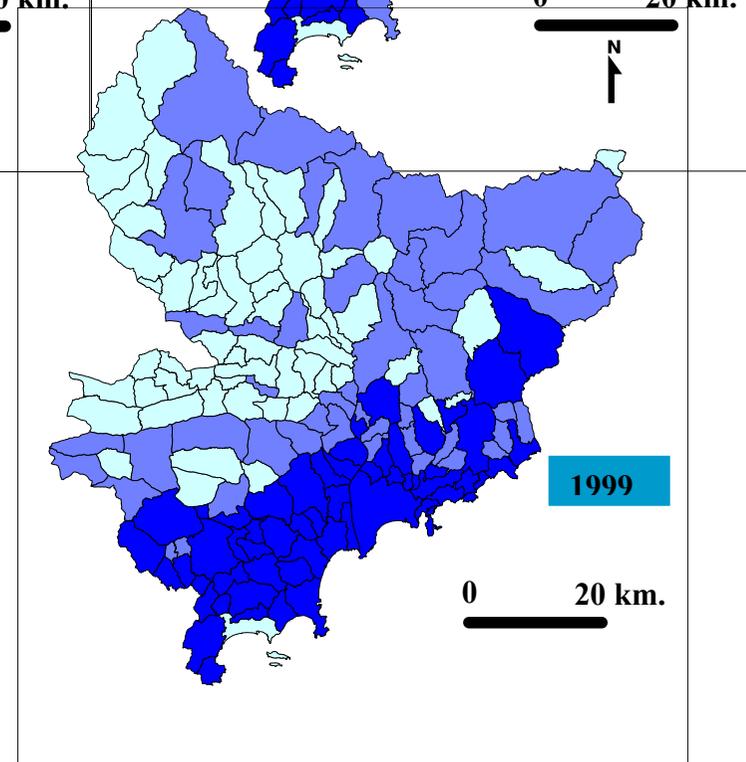


Fig. 17 : Répartition de la population dans les départements des Alpes-Maritimes, pour les années 1973, 1982, 1990 et 1999.

Source : Inventaire communal 1979/1980 et www.insee.fr
 Conception : N.HESSAS, 2005

Cette croissance démographique exponentielle que l'on remarque dans certaines régions soulève des difficultés. L'intégration de cette population supplémentaire a des répercussions sur l'urbanisation. Ainsi, les villes et les villages s'étendent à l'intérieur ou en lisière des espaces naturels. Par ailleurs, l'évolution des pratiques, également liées au désir de se rapprocher de la nature aux abords des espaces boisés zones résidentielles de loisirs intégrées aux massifs), se traduit par l'émergence de nouveaux types d'espaces périurbains. Plus de 200 millions de visiteurs parcourent les forêts chaque année (chemins, aires, ...) (www.agriculture.gouv.fr, 2003). Ces changements ont pour corollaire le développement de l'interface forêt/habitat, définie comme la ligne, la zone, où les structures et tout autre développement humain se réunissent ou se mélangent avec les terres non cultivées, peu développées ou des espaces forestiers combustibles. Les interfaces entre espaces anthropiques (périurbains ou agricoles) et les espaces naturels (forestiers ou sub-forestiers) peuvent être matérialisés par une lisière.

Les projections démographiques de l'INSEE de 1998 (SUD - INSEE, mai 1998) prévoient pour 2020 une augmentation de 20 % de la population faisant naître un enjeu de taille. Celui de gérer et préserver les espaces naturels. La forêt est le théâtre d'une forte demande sociale. Les activités de loisirs se diversifient et la pratique est soutenue. Certains espaces naturels prestigieux de la côte méditerranéenne comme les calanques reçoivent chaque année jusqu'à un million de personnes. Il en résulte une très forte pression. Le risque d'incendie s'accroît, les activités doivent être gérées.

5-3-Tourisme dans les Alpes-Maritimes: la Côte d'Azur un lieu très recherché

Avec ses 120 Km de côte ensoleillée, la Côte d'Azur offre un des bords de mer les plus séduisants de France. De Théoule à Menton, 31 ports de plaisance ou ports abris offrent aux croisiéristes des infrastructures de grande qualité, dans des sites de toute beauté: les falaises de l'Esterel, la rade de Villefranche, les golfes de Cannes et d'Antibes, la Baie des Anges...Corniches, caps et parcs départementaux de bord de mer peuvent se découvrir à pied. De nombreux sentiers de randonnée permettent de les parcourir en toute tranquillité.

Derrière la Côte se cache, en effet, un immense domaine naturel, protégé en partie par le parc National du Mercantour, créé en 1979 pour protéger la faune et la flore de cette région de haute montagne. Ce domaine est complété par des parcs régionaux, des massifs forestiers

et la superbe Vallée des Merveilles, classée monument historique avec ses milliers de gravures rupestres à la signification toujours mystérieuse, gravées il y a 3 500 ans par des bergers. Citons pour mémoire un artisanat toujours bien présent, Théoule, célèbre pour sa maîtrise du vitrail et Opio pour sa ferronnerie d'art,....

L'augmentation de la population surtout en été n'est pas sans danger pour l'environnement. Elle est pour beaucoup responsable dans le déclenchement des incendies. Fréquentation importante des zones sensibles (aires de pique-nique, sentiers, routes). Le tableau suivant donne un aperçu des nombres de touristes recensés dans les départements méditerranéens et le positionnement des Alpes-Maritimes par rapport aux autres départements.

Tableau 12 : Nombre de nuitées recensées dans les hôtelleries et les camping par années

	2001	2002	2003
Alpes-Maritimes	10 117 896	9 937 124	8 814 902
Hautes-Alpes	1 397 284	1 440 614	1 361 170
Alpes-de-Haute-Provence	814 877	800 404	736 053
Bouches-du-Rhône	5 696 257	5 376 523	5 166 106
Var	3 723 056	3 650 735	3 737 946
Vaucluse	2 023 403	2 034 290	2 125 607
Provence – Alpes - Côte d'Azur	23 772 773	23 239 690	21 941 784

Source : INSEE - Ministère de l'équipement, du transport et du tourisme – Enquête mensuelle de fréquentation dans l'hôtellerie et les campings

Ces chiffres montre que les Alpes Maritimes est une région privilégiée des touristes. Le littoral reste malgré un petit recul très attractif. Selon INSEE (2004) durant les saisons estivales, de mai à septembre, les campings homologués ont enregistré 12 millions de nuitées en Provence Alpes côte d'Azur. Ces visiteurs, dans la nature, en été, est un danger en déclenchant des feux suite à des imprudences.

6-Historique des incendies de forêts dans le département des Alpes-Maritimes

En juillet 1756, le feu s'étend d'Hyères à Léoube et les années suivantes, la côte est particulièrement touchée : Brégançon, Hyères, la Napoule, Saint Raphaël, Cannes,

Ramatuelle. En 1744, le territoire de la Môle était devenu cendres et en 1764 tout l'Esterel est en feu. Sa première moitié est anéantie entre 1838 et 1840, la deuxième en 1854, nous avons vu sa reconstitution détruite par l'incendie de 1918.

En 1923 ce fût l'enfer dans les Alpes-Maritimes: 8 morts et des dommages considérables. En 1977 le village des Adrets ne doit son salut qu'à une saute de vent (FAURE, 1991).

Il est probable que les incendies qui rongeaient au cours du XVIII^{ème} siècle sont autant de prétextes de défrichements. La lettre d'un magistrat de la cour d'Aix adressée à la société d'agriculture en témoigne : « Le plus médiocre intérêt suffit à ces gens de campagne pour détruire des forêts entières ; tels les incendies pour se procurer quelques pâturages, pour avoir des terres à défricher. Ces grands incendies qu'on voit se multiplier rendent la propriété des bois très précaire. Un seigneur craint toujours qu'on ne vienne lui annoncer qu'il a perdu la moitié de ses bois». Et depuis les incendies ne ratent pas leurs rendez-vous au département des Alpes-Maritimes.

7-Conclusion du chapitre II

Le bassin versant du Paillon se caractérise par une extrême diversité dans les conditions écologiques, climatiques et dans les essences. Certaines d'entre elles sont présentes depuis les temps immémoriaux: chêne vert, chêne pubescent, pin.... D'autres ont été utilisées pour des besoins domestiques (châtaignier, noisetier ou merisier, ...). Epicéa commun, essence introduite et reboisée surtout dans les terrains privés est d'environ 171 hectares (IFN, 2003).

Nice a, dans le passé, souffert d'une gestion peu prudente: surpâturage, exploitations arbustives, etc. On assiste aujourd'hui a une déprise agricole dans les secteurs de montagne augmentant la sensibilité au feu des ces espaces embroussaillés. Le développement autour des pôles d'activités, entraîne un mitage très dommageable à la protection et à la remise en valeur de vastes espaces forestiers dégradés et constitue un facteur de risques incendie supplémentaire.

Ce bassin dans sa quasi-totalité, est soumis à des conditions climatiques caractéristiques du climat méditerranéen: des saisons à la fois chaudes et sèches le rendent

particulièrement sensible aux incendies. Hormis la sécheresse de l'été, la douceur des hivers, le ciel le plus souvent limpide ; de là ces climats locaux recherchés du tourisme ou des agricultures spécialisées, ces oasis de douceur comme la région niçoise. Les lieux très fréquentés sont menacés par les incendies de forêt, qu'il s'agisse de zones d'activités, des zones urbaines, des zones de tourisme et de loisirs ou des zones agricoles. Les incendies mettent aussi en danger la vie des habitants, en détruisant des habitations. C'est le cas surtout lorsqu'elles n'ont pas fait l'objet d'une protection particulière, soit au niveau de la construction elle-même, soit au niveau de la végétation environnante. Ces divers lieux présentent une vulnérabilité variable selon l'heure de la journée et la période de l'année.

Sans l'étude approfondie du milieu, la compréhension du feu poserait des difficultés. La connaissance des différents facteurs tels que (précipitations, températures, relief, population, ...) aide à la décortication du phénomène feu ; donnant une explication des raisons pour lesquelles le département des Alpes-Maritimes est le plus touché par les feux d'été détruisant des milliers d'hectares chaque année.

2^{ème} Partie

Le feu : de l'analyse scientifique à la
gestion politique

CHAPITRE III

Caractéristiques de l'aléa feu de forêt : étude physico-chimique de l'élément, ses causes et son comportement

Chapitre III : Caractéristiques de l'aléa feu de forêt : étude physico-chimique de l'élément, ses causes et son comportement

Avant de mettre au point la méthodologie qui sera détaillée dans le chapitre cinq, il est utile de faire une étude préliminaire du comportement du feu de forêt.

Le feu est un facteur écologique important qui a façonné notre environnement depuis des millénaires. D'après STEWART (1956), l'homme aurait découvert la valeur du feu il y a 250 000 à 500 000 années. L'usage courant en Afrique remonterait à 50 000 (CLARK, 1960 ; HOWEL et CLARK, 1963) et selon LACEY (1982), les aborigènes australiens l'avaient découvert à la même époque. On trouve également des traces de son utilisation dans le « Cerrado » brésilien il y a environ dix mille années (COUTINHO, 1979). Sur les sites de la civilisation Maya en Amérique centrale, la découverte de très importantes surfaces brûlées par l'homme, témoigne de sa maîtrise 3 000 ans avant Jésus-Christ (LAMBERT et ARNASON, 1978). En Asie, LAL (1987) estime que l'utilisation du feu comme moyen de mise en valeur remonte à des époques encore plus anciennes, principalement pour la chasse et pour faciliter les déplacements des populations (RISWAN et *al.*, 1984), malgré les difficultés d'ignition de ce type de végétation (in BERTAULT, 1992).

« L'incendie de forêt est une combustion qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace » (TRABAUD, 1989). Il faut entendre par forêt, en plus des forêts au sens stricte, l'ensemble des formations végétales dégradées (landes, garrigues, maquis, etc...). Dans les autres cas, on parle de feux de l'espace rural et périurbain (les feux dans des massifs de moins de 1 hectare, dans les boisements linéaires, des feux d'herbes, d'autres feux agricoles, des dépôts d'ordures, d'autres types).

1-Types de végétations et climats: impacts naturels

Certaines formations végétales sont plus sensibles que d'autres. Les landes, les maquis et les garrigues sont plus vulnérables que les zones forestières. Cette situation s'explique par la composition, la structure de ces formations et les conditions climatiques auxquelles elles sont soumises. Un problème beaucoup plus complexe se pose lorsqu'il s'agit d'établir un lien entre les incendies et les conditions atmosphériques. Les simulations étudiées sur le comportement du feu ont néanmoins permis de mettre en évidence l'influence significative

sur le régime des incendies, des facteurs météorologiques suivants : température et humidité relative de l'air, période de sécheresse (aridité), situations prolongées de hautes pressions (blocages atmosphériques), orages avec impacts de foudre, vitesse maximale du vent du nord ; les facteurs météorologiques journaliers (à court terme) se révélant être les plus déterminants. En conclusion, la prédisposition des formations végétales aux incendies est très liée à leur teneur en eau qui est déterminée par les conditions générales de sécheresse (température, absence de précipitations, épisodes des vents). Ces conditions ne sont pas constantes dans le temps; elles évoluent, par exemple en fonction de l'état de la végétation qui est le résultat à la fois de la dynamique naturelle, de la sylviculture et de passages éventuels de feux.

2-Description des mécanismes d'éclosion des incendies

Le feu est un phénomène physico-chimique ; pour apparaître et se propager il a besoin de trois éléments:

- un combustible : la végétation ;
- un comburant : l'oxygène de l'air ;
- un flux de chaleur pour porter le combustible à une température initiale suffisamment élevée.

Le combustible, c'est la distribution horizontale ou verticale dans l'espace. Des modèles permettent de décrire cette distribution. En France, on distingue quatre strates verticales:

- la litière, souvent peu épaisse en région méditerranéenne ;
- la strate herbacée, très inflammable en période de sécheresse ;
- les ligneux bas, d'une hauteur inférieure à 2 m ;
- les ligneux hauts, d'une hauteur supérieure à 2 m.

Les structures horizontales et verticales peuvent être continues ou discontinues (répartition par bouquets, absence de sous étage).

Concernant la microstructure, il s'agit de l'agencement dans l'espace des organes végétaux les plus fins (feuilles, aiguilles, rameaux). L'intensité du feu dépend également de

cette microstructure. Plus un combustible est finement divisé, meilleur est le contact avec le comburant, et donc plus la combustion est facilitée. Ainsi :

- des aiguilles tombées au sol récemment forment un tapis aéré, facilitant le contact entre l'air et la matière végétale et donc la combustion ;
- en revanche, un tapis d'aiguilles au sol depuis longtemps, tassées sous l'effet du vieillissement et des intempéries, forme une couche beaucoup plus compacte, rendant la combustion plus difficile.

La capacité d'un combustible à s'enflammer dépend de ses caractéristiques et de celles de la source d'énergie, ainsi que du temps d'exposition :

- un faible apport d'énergie permet l'inflammation de l'herbe sèche, alors qu'il faut un apport d'énergie beaucoup plus important pour enflammer du bois ;
- pour enflammer des végétaux en stress hydrique, des braises nécessitent la présence de vent, tandis qu'une flamme d'allumette suffit. L'arc électrique créé lors de la rupture d'un câble ou l'impact de la foudre dégage assez d'énergie pour enflammer facilement la végétation.

Le combustible reçoit de l'énergie par rayonnement, il s'échauffe. Etant plus chaud que l'air ambiant, il perd une partie de cette énergie par convection et par rayonnement. Parvenu à une température de 100°C, l'eau s'est complètement évaporée. Le combustible continue d'être échauffé. Au voisinage du front de feu, le combustible reçoit de l'énergie par rayonnement et aussi par des phénomènes convectifs complexes (gaz chauds issus du foyer). La température croît brutalement ; lorsqu'elle dépasse environ 300°C, une dégradation très rapide se produit : c'est la pyrolyse qui libère des gaz combustibles. Les gaz combustibles, en contact avec l'oxygène, sont enflammés et les réactions chimiques du combustible libèrent de l'énergie en quantité considérable, qui permet d'entretenir l'ensemble du processus de propagation (transferts thermiques vers le combustible imbrûlé).

L'inflammabilité peut être mesurée en prenant en compte certains facteurs naturels. Elle dépend plus particulièrement de la teneur en eau et de la composition chimique des végétaux ainsi que de paramètres météorologiques.

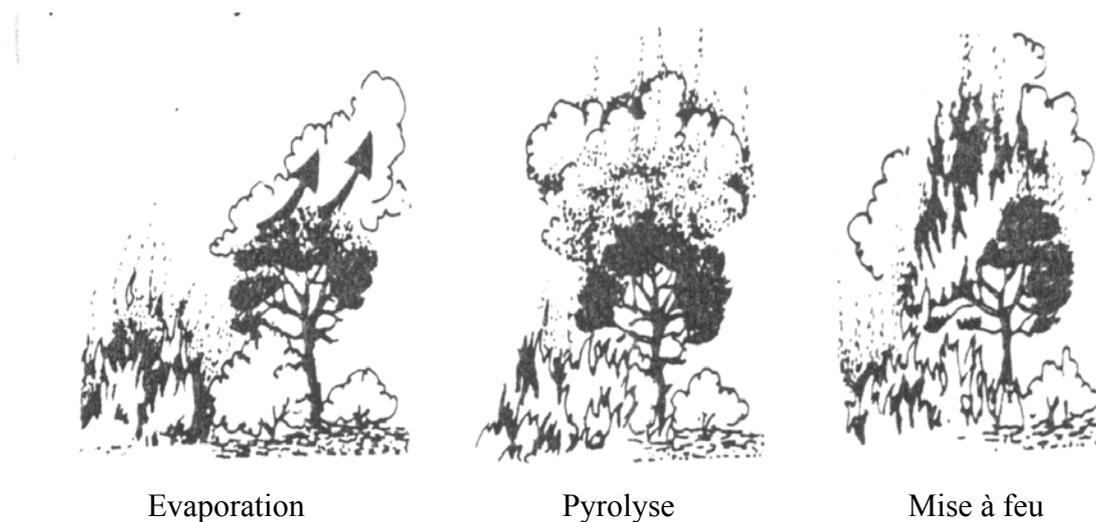


Fig. 18 : Mécanisme du feu

Source : CEMAGREF, 1989

Les températures atteintes pendant des incendies allumés à titre d'expériences dans les garrigues de chênes kermès des environs de Montpellier peuvent varier de moins de 600°C à plus de 1000°C mais sont en général de l'ordre de 800°C. Elles marquent de rapides fluctuations de grandes amplitudes qui se manifestent par un tremblement de flammes. Plus on se rapproche du sol, plus ces fluctuations s'atténuent et l'amplitude thermique diminue. Dans le sol, les élévations de températures de plus de 150°C sont rares en dessous de 1 cm de profondeur. Elles sont de 40°C au-delà de 5 cm et sont de très courte durée.

2-1-Teneur en eau

La teneur en eau des végétaux joue un rôle important. Cette eau résulte des conditions climatiques du moment ainsi que celles des jours et des semaines précédents. Certains types de combustibles sont plus sensibles à la forte variabilité de la teneur en eau comme le bois mort et les végétaux fins (herbacés). Pour alimenter une combustion, le végétal doit avoir perdu son eau par évaporation puis émettre par pyrolyse des gaz inflammables. Il en résulte que les végétaux riches en eau sont peu inflammables et peu combustibles. La température varie entre 260 et 450°C. Les sources de chaleur telles que les allumettes enflammées, les cigarettes incandescentes et la foudre fournissent cette température. Le teneur en eau varie en fonction des espèces végétales, mais également en fonction de la phénologie, des conditions physiologiques des végétaux et des influences climatiques.

Dès le printemps, la teneur en eau diminue avec ou sans couvert pour tous les végétaux mais elle est différente d'une espèce à une autre. Entre l'arbousier et la bruyère par exemple sous le couvert dans des périodes chaudes, la teneur est de 40% en juillet pour la bruyère et de 52 pour l'arbousier (INRA, 1998).

Les forestiers effectuent régulièrement des tests sur des échantillons représentatifs de la forêt pour déterminer la capacité en eau des végétaux. L'exploitation d'une photo infrarouge nous permettra d'apprécier la situation du stress hydrique de la végétation lors de la prise de la photo (voir chapitre VI).

La matière sèche est composée de matière organique et de minéraux. Seule la matière organique brûle, fournissant l'énergie nécessaire à la propagation du feu. Ainsi, plus un végétal est riche en minéraux, moins son pouvoir calorifique théorique est élevé, moins il est combustible.

2-3-Paramètres météorologiques

Les paramètres qui influent sur l'éclosion sont la température de l'air, son humidité et le vent. Les deux premiers ont une action directe sur l'inflammabilité du combustible. En revanche le vent augmente les probabilités de mises à feu involontaires : arcs électriques des lignes EDF, transport d'éléments incandescents à partir des dépôts d'ordures ou de barbecues, etc.

La prévision et l'analyse des risques météorologiques pour les feux de forêts en zone méditerranéenne sont de la compétence de Météo France dans le cadre d'une convention entre la Direction de la sécurité civile et Météo France. La prévision feux de forêts est élaborée selon le schéma ci dessous (DDAF, 1999) :

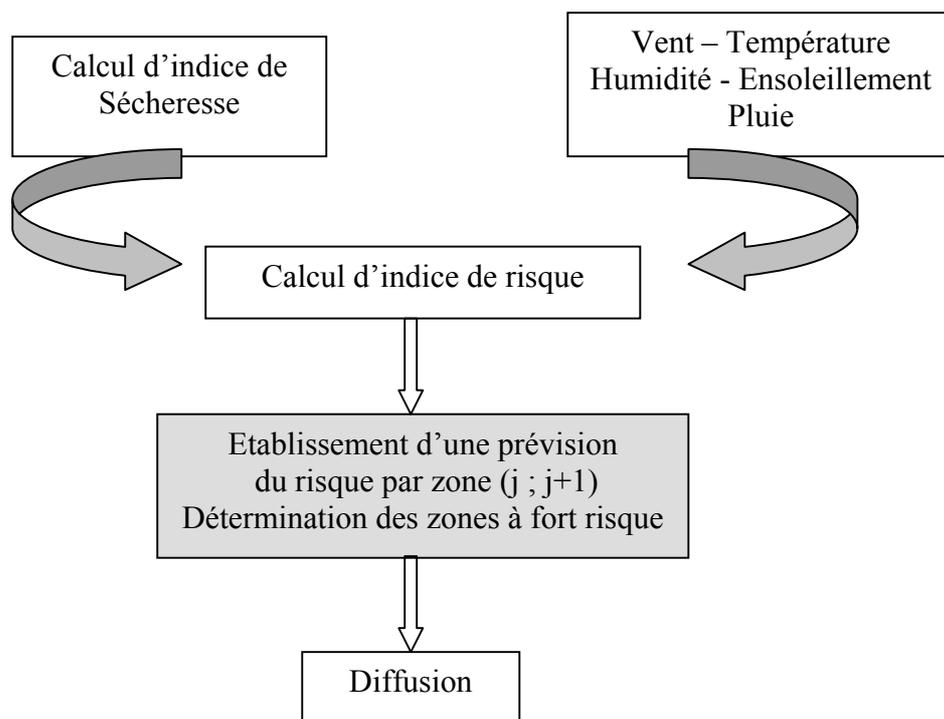


Fig. 19 : Prévision pour zones à fort risque.

Pendant toute la durée de la saison des feux, la prévision des périodes à risques permet de mobiliser complètement les moyens de lutte les jours à risques élevés, en donnant une estimation du niveau de ce risque. L'indice IFM (Indice Forêt Météorologique) donne une analyse plus précise du risque en prenant en compte le passé climatique, notamment les réserves en eau à différentes profondeurs dans le sol.

3-Origine des incendies

L'action de l'homme a entraîné une évolution des espaces forestiers au cours de l'histoire ; les alternances de déboisement et de reforestation, de culture et d'aménagement, ont considérablement modifié l'environnement tout en ayant des actions différentes sur les risques naturels. L'origine des incendies de forêt est souvent inconnue. De nombreux facteurs contribuent dans une certaine mesure à leur développement. Ce sont des faits d'activités humaines : loisirs, production, certaines infrastructures de transport (routes, voies ferrées) qui peuvent être à l'origine de l'éclosion et de la propagation des feux.

L'origine d'un incendie est souvent difficile à déterminer du fait de l'absence de preuves matérielles concrètes ; il en résulte que le pourcentage de causes inconnues peut être très important. Ce pourcentage en nombre d'incendies, atteint 18 % en Espagne, 33 % en

France, 26 % en Grèce, 31 % au Portugal et 48 % en Turquie (FAO et CEMAGREF, 2003). Un tiers des feux de forêt est aujourd'hui inexplicé. Les enquêtes sur le terrain doivent s'attacher à découvrir la cause tout autant que l'auteur de l'incendie.

Une réflexion globale sur l'objet de la typologie a eu lieu avec tous les partenaires de Prométhée en novembre 1996 à Valabre. Les propositions qui en résultèrent furent analysées et soumises à tous les correspondants des départements concernés. Cette nouvelle typologie a été validée par le comité de pilotage en juin 1997 et mise en application en juillet 1997. Elle se veut plus proche de la réalité du terrain, mieux adaptée aux actions de prévention plus souple dans la saisie et repose sur une répartition des natures de causes en 5 familles :

- les causes d'origine naturelle ;
- les causes d'origine accidentelle liées aux installations ;
- les causes d'origine humaine intentionnelle (la malveillance) ;
- les causes d'origine involontaire, liées aux travaux professionnels ;
- les causes d'origine involontaire, liées aux particuliers (travaux et loisirs).

Un effort approfondi d'analyse a été fourni. Ainsi, les causes d'origine intentionnelle sont subdivisées en 3 catégories :

- le conflit (avec deux cas : occupation du sol, chasse) ;
- l'intérêt (avec trois cas : occupation du sol, cynégétique, pastoralisme) ;
- la pyromanie.

La connaissance des causes des incendies est le fondement de toute politique de prévention efficace. En effet, pour renforcer les actions de prévention, il faut être en mesure de différencier les causes accidentelles. Le message de prévention n'est pas le même si le feu a pour origine une imprudence (un pétard jeté par un enfant, une activité agricole, forestière ou pastorale), ou s'il est lié à une infrastructure (décharge mal entretenue par une commune). Lorsque les causes du feu sont connues, il est alors plus facile de les éradiquer par la mise en œuvre d'actions concrètes, et donc de limiter le nombre de feux.

Les causes d'incendie de forêt sont diverses et leur répartition varie selon les pays et à l'intérieur d'un même pays, mais aussi en fonction du temps. Dans le bassin méditerranéen, les incendies sont en grande majorité d'origine humaine, que ce soit par accident, par négligence ou intentionnellement. Les départs d'incendie dans le département des Alpes-

Maritimes se localisent préférentiellement en fond de la vallée, à proximité des voies (routes nationales et départementales) et plus rarement à partir de zones inaccessibles. Exception qui confirme la règle, au mois d'août 2003 l'incendie qui a eu à Lucéram est parti à mi-pente.

Cependant, la part des feux dont l'origine reste inconnue est encore importante. L'amélioration de la connaissance des origines des incendies nécessite de développer la recherche des causes d'incendies, ce qui peut être réalisé par exemple grâce à :

- l'utilisation de méthodes originales de recherche des causes, qui nécessitent à la fois beaucoup de temps et de savoir-faire. La mise en œuvre de ces méthodes est confiée à des groupes spécialisés dans la recherche des causes, dont les membres, spécialement formés, se consacrent à temps plein à cette tâche. Pour trouver la cause d'un incendie de forêt, il faut trois étapes : la première est de localiser les points d'éclosion, la seconde consiste à démontrer le mécanisme d'éclosion et enfin une explication de la propagation du feu ;
- la création et la formation d'équipes spécialisées ;
- la coopération entre les services responsables de la protection des forêts contre l'incendie.

En France, tout feu de plus de 100 hectares fait l'objet d'une enquête, réalisée par une équipe pluridisciplinaire composée d'un pompier, d'un forestier, d'un gendarme et d'un policier. Il existe une équipe par département.

3-1-Causes naturelles

La végétation ne s'enflammant pas seule, même par forte sécheresse, l'unique cause naturelle des incendies de forêt est la foudre. Selon le guide des PPR (2000) elle ne contribue que pour 4 à 7 % au nombre de départs de feux en plein cœur des massifs, pendant le mois d'août. Ce pourcentage peut atteindre 20 % dans les Landes. Les surfaces liées à ce type de cause sont en général réduites comptes tenus des conditions météorologiques qui les accompagnent. Aux Etats unis et au Canada se sont les orages secs qui provoquent un grand nombre d'incendies et de dégâts, surtout lorsqu'ils touchent de vastes étendues forestières peu ou pas urbanisées. Dans le département des Alpes-Maritimes, les feux d'origine naturelle telles que la foudre sont négligeables.

3-2-Causes humaines: impacts anthropiques

Elles représentent l'essentiel des origines des incendies de forêts. Leur répartition dépend étroitement du contexte social, économique, politique et législatif de chaque pays.

La naissance d'un feu résulte de la conjonction d'un combustible, de la présence de végétation et d'une source de chaleur, généralement d'origine humaine. En effet, le facteur de déclenchement des incendies de forêt en Europe, statistiquement le plus important est l'Homme. Celui-ci par sa présence et son activité est responsable volontairement ou non de 93 % des départs de feux (fichier Prométhée). Les zones d'éclosions des feux se situent donc en grande majorité aux interfaces entre les espaces naturels et les espaces urbanisés, elles sont corrélées à l'importance de la fréquentation des forêts ou de leurs abords immédiats. L'explosion démographique avait pour conséquence une diminution des espaces forestiers. Les fluctuations de la forêt sont ainsi liées au développement de la société. Les imprudences et les accidents dus à des détails de fonctionnement d'équipements sont les causes les plus fréquentes des incendies.

- les imprudences de toutes sortes (travaux agricoles ou forestiers, loisirs en forêt, habitations, jets de mégots, etc.) dont certaines peuvent avoir des conséquences catastrophiques, constituent une part très significative du nombre de feux : en moyenne plus d'un sur deux.
- les accidents (lignes électriques, dépôts d'ordures, etc.), ils sont beaucoup moins fréquents que les imprudences.

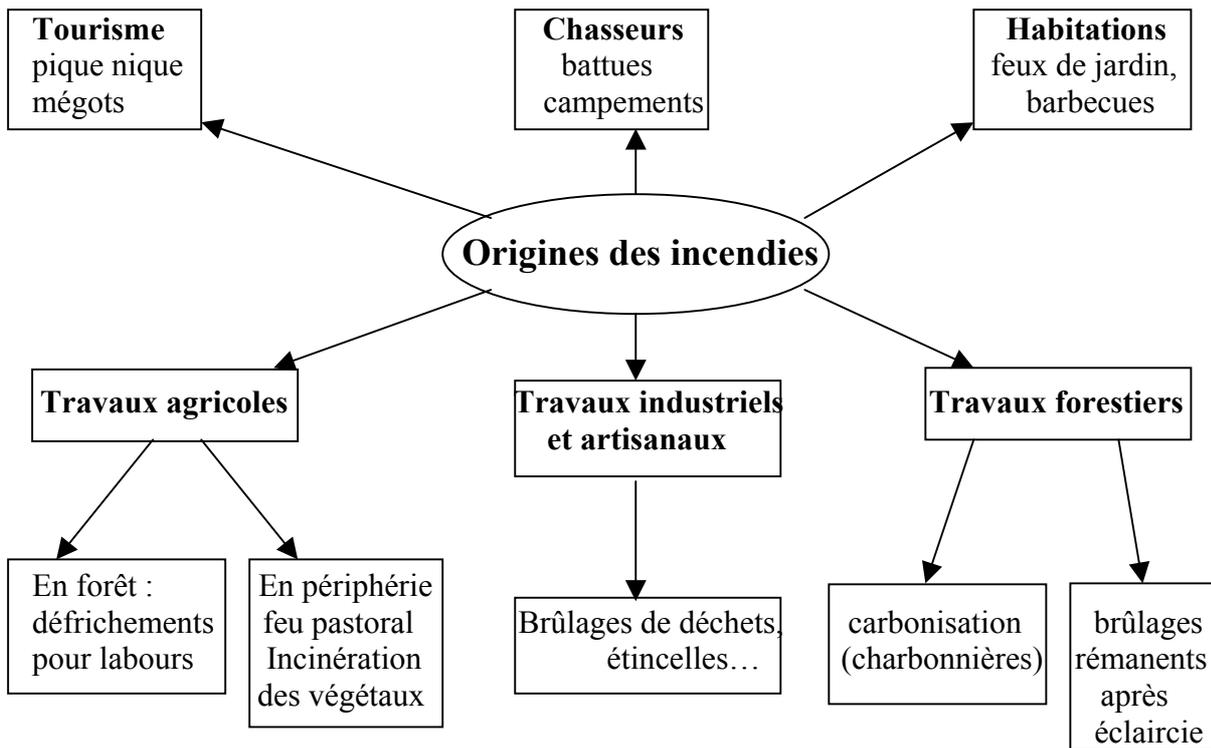


Fig. 20 : Origines des incendies, causes involontaires
N. HESSAS, 2003

Dans le département des Alpes Maritimes, surtout à Nice où se trouve une forte croissance urbaine, le développement de l'habitat en forêt ou en lisière crée des zones d'interfaces très favorables aux départs de feux. Une autre cause liée à l'accueil du public (tourisme) est importante.

4-Différentes étapes dans la propagation des incendies

La propagation d'un feu se développe en 3 étapes :

- combustion du matériel végétal avec émission de chaleur,
- transfert de la chaleur émise vers le combustible en avant du front de flamme,
- absorption de la chaleur par le végétal en avant du front de flamme, inflammation.

Le transport de chaleur émise par la combustion est assuré par trois processus :

4-1-Conduction

Elle correspond à la transmission de proche en proche (agitation moléculaire) de l'énergie cinétique. Elle n'évacue les calories que très lentement et ne peut se produire que dans un support matériel, qu'il soit solide, liquide ou gazeux. La chaleur diffuse du corps chaud vers le corps froid. La conduction joue un rôle mineur dans la progression du feu puisqu'elle ne présente environ que 5 % des transferts de chaleur, à l'exception des feux de sol ou de tourbière, pour lesquels elle est le processus de transfert de chaleur prépondérant. La conductibilité peut permettre la propagation des incendies de végétation sur un tapis continu. Selon SEIGUE (1987) son rôle est essentiel dans le pays du nord, Canada, URSS, ou le sol est couvert d'une façon continue d'un feutrage épais d'humus et de végétaux en décomposition.

4-2-Rayonnement thermique

C'est le mode principal de transfert de l'énergie sous forme d'ondes infrarouges. La quantité d'énergie émise par rayonnement augmente rapidement avec la température de l'objet en ignition. Tout corps dont la température absolue est supérieure à 0°K, soit - 273°C, émet un rayonnement électromagnétique dont la fréquence est fonction de cette température. La quantité d'énergie transférée d'un corps à un autre par rayonnement augmente avec l'accroissement de la différence de température entre ces deux corps. Le rayonnement à courte distance cause le dessèchement et l'élévation de la température du combustible en avant du front de feu et assure la progression de celui-ci à une vitesse qui reste toujours faible en l'absence de vent. TRABAUD a observé des vitesses de propagation proportionnelles au carré de la vitesse du vent, à la hauteur de la végétation et inversement proportionnelle à la teneur en eau des végétaux. D'après le FAO et le CEMAGREF (2001) un front de feu ne constitue pas une source ponctuelle mais un panneau radiant. Pour une distance au front de feu inférieure à 10 à 20 fois la hauteur des flammes, le rayonnement reçu par un objet varie alors comme l'inverse de la distance de cet objet au front de flamme. A proximité immédiate du front de feu, le rayonnement est extrêmement intense. A une distance égale à 5, à 10 fois la hauteur des flammes, ce rayonnement est beaucoup moins intense. En pratique, c'est surtout le rayonnement à courte distance qui est à l'origine de l'élévation de la température et du

dessèchement du combustible en avant du front de flamme, assurant ainsi la progression du feu.

4-3-Convection

C'est le principal agent de propagation du feu. L'évacuation de la majeure partie des calories (80 à 90 %), est dégagée sous forme de gaz brûlé et d'air chaud. La colonne d'air chaud monte vers le ciel, son importance augmente avec le vent et la pente en contribuant à dessécher la végétation, parfois assez loin en avant du front de feu et accélère ainsi sa progression. Cette colonne de convection transporte des brandons qui peuvent tomber à plusieurs centaines de mètres en avant du feu. Ce processus est à l'origine du déclenchement de foyers secondaires (sautes de feu).

Le vent, en poussant les gaz chauds en avant du front de flammes, au sein même des strates basses de la végétation, accélère la propagation du feu. Néanmoins, le vent produit un mélange de l'air frais avec les gaz chauds. Il est souvent à l'origine des incendies de grande surface.

Les variations du relief participent aussi au déplacement des gaz chauds. Pour un feu montant, la convection vers l'avant du front de feu est d'autant plus marquée que la pente est plus importante. C'est l'inverse pour un feu descendant.

Selon TRABAUD in SEIGUE (1985) L'intensité du feu varie avec la biomasse et la vitesse de propagation. Elle peut aller d'un flux de 40 kcal/cm²/seconde à 250 kcal/cm²/seconde selon que le feu se propage dans une pelouse ou dans une forêt. Pour des feux de garrigues les intensités oscillent entre 1,1 et 3,5 kcal/cm²/seconde.

D'après CHEVROU (1998) l'analyse du risque envisage l'incident ou l'accident qui se produit dans des conditions extrêmes. Le risque associé à l'arrivée d'un front de feu dépend en partie de la puissance du feu à laquelle l'efficacité de la lutte est liée.

La puissance du feu P, exprimée en Kilowatts par mètre de front (kW /m), dépend de la quantité w (kg/m²) de biomasse brûlée par le front (feuilles, aiguilles, brindilles et litière = débris végétaux sur le sol), et de la vitesse de progression du feu sur le front R (m/s), selon la formule de Byram : $P= 18700 w R$ (ALEXANDER, 1982). Cette puissance fluctue en fonction de la densité de la végétation et des sautes du vent local qui dépendent du relief, de la

structure de la végétation, et des ascendances thermiques ou des tourbillons créés par l'incendie.

Les canadiens (MTDA, 1996) considèrent qu'un front de feu de puissance inférieure à 2000 kW/m peut être maîtrisé par les moyens de lutte au sol. Au-delà, et jusqu'à 4 000 kW/m, il est souvent impossible de contenir la tête du feu. Au-delà de 10 000 kW/m, la maîtrise du feu est impossible, et on doit attendre un affaiblissement de la puissance du feu ou un ralentissement de sa progression (affaiblissement du vent, passage du feu dans une végétation moins dense, fraîcheur du soir), ou encore les effets des interventions retardatrices (attaque latérale, largage de produits moussants ou retardant).

Sur un front de feu de forte puissance, les pompiers interviennent sur les flancs de l'incendie pour « pincer le feu » et sur la tête des feux avec l'aide des moyens aériens ou lorsque le feu atteint une zone à végétation plus clairsemée.

La puissance du feu peut dépasser 100 000 kW/m en Amérique du Nord et en Australie, mais il semble qu'elles ne puissent atteindre 25 000 kW/m en France que dans des circonstances exceptionnelles, non précisées car il n'est pas d'usage d'estimer la puissance du feu. Cette grande différence s'explique par le fait que les forêts sont plus denses, les arbres plus gros et plus grands et, surtout, les litières beaucoup plus épaisses dans ces pays qu'ils ne le sont dans le Sud de la France. Cette valeur limite de 25 000 kW/m, déjà considérable par ses conséquences, est retenue parce qu'elle correspond à la biomasse combustible maximum des types de végétation du Sud-est de la France (1 à 2 kg/m² de litière, feuilles, aiguilles et brindilles, soit 10 à 20 tonnes/hectare), et aux vitesses maximales de progression du feu dans ces mêmes types de végétation (0,5 à 1m/s) pour une puissance de feu de cet ordre de grandeur, la hauteur moyenne des flammes est de l'ordre d'une dizaine de mètres (TRABAUD, 1989)

Des rapports ont été établis après les feux du 16 février 1983 en Australie (feux du mercredi des cendres, 392 000 hectares et 2 545 bâtiments détruits) qui ont causé la mort de 75 personnes ; 32 décès ont pu faire l'objet d'une analyse assez précise pour en définir les circonstances ; le rayonnement thermique a été l'origine du décès de plusieurs cas, notamment, le corps d'une personne a été trouvé calciné sur une place dépourvue de végétation près de sa maison (un témoin arrivé après le drame a cru d'abord voir une statue

détériorée par le feu avant de se rendre compte qu'il s'agissait du corps calciné de la victime) ; plusieurs autres personnes sont mortes à l'intérieur de leurs véhicules.

Dans ces accidents, il a été constaté que deux personnes protégées par des couvertures en fibres synthétiques ordinaires sont décédées à côté de deux autres protégées par des couvertures en laine préalablement mouillées, et qui ont survécu sans brûlures graves.

Dans le cas de ces incendies, l'évacuation tardive résulte de ce que le feu n'est devenu dangereux pour les habitants qu'après un changement soudain de la force et de direction du vent, suite à l'arrivée d'un « front froid » due aux déplacements des masses d'air. Les pompiers doivent se prémunir contre de tels phénomènes que les services météorologiques peuvent facilement prévoir.

La puissance maximale de ces feux a été estimée à 125 000 kW/m ; 8 mètres du front de feu représentent alors la puissance thermique d'une centrale nucléaire.

Certains auteurs de ces rapports ont noté que « la principale menace de mort se trouve dans le rayonnement thermique produit par le feu, non dans les flammes. L'exposition à un niveau élevé de rayonnement thermique peut entraîner la rupture du système de refroidissement du corps, conduisant ainsi à un épuisement extrême, à une insuffisance cardiaque, et finalement à la mort par choc thermique. Une maison procure une protection beaucoup plus efficace qu'une automobile contre ce rayonnement thermique (KRUSEL et PETRIS, 1993)

Beaucoup de personnes sont décédées des conséquences de la panique dans de nombreux feux de forêts. On peut citer, entre autres, le cas du grand feu du 20 octobre 1991, d'Oakland-Berkeley, près de San Francisco, Californie, qui a détruit plus de 3 750 unités d'habitation, et où 25 personnes sont mortes, dont beaucoup suite aux embouteillages et aux accidents provoqués par la panique (CHEVROU, 1998).

5-Types et modes de propagation du feu

La couverture de feuilles et d'herbes sèches constituent le principal facteur d'inflammation de la forêt. Elle est particulièrement dangereuse quand elle forme un tapis continu.

Les feux sont classés en fonction des conditions climatiques (force du vent) et des caractéristiques de la végétation:



- **Les feux de sol:** ce type de feux consomme la matière organique constituant la litière et l'humus. Ils ne produisent pas de flammes apparentes et peuvent pénétrer dans les dépôts organiques très profonds et cheminer à plusieurs

dizaines de centimètres sous la surface. La vitesse de propagation est faible. Ils sont relativement rares en région méditerranéenne.

- **Les feux de surface** qui brûlent les strates basses de la végétation (partie supérieure de la litière, tapis herbacé, ligneux bas). Ils se propagent rapidement en dégageant beaucoup de flammes et de chaleur et affectent la garrigue ou les landes.



- **Les feux de cimes:** ils sont soit indépendants soit dépendants des feux de surface. Ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie et ont une vitesse de propagation très élevée. Ce sont les ligneux hauts qui assurent la propagation verticale en direction des cimes.



- **Les sautes de feu :** ce sont des projections d'articules enflammées ou incandescentes (brandons) en avant du front de flamme. Ces particules, entraînées dans la colonne de convection et transportées par le vent, peuvent être à l'origine de foyers secondaires à l'avant de l'incendie. Les gros brandons peuvent brûler longtemps et être transportés très loin (jusqu'à 10 ou 20 km exceptionnellement). Des sautes de feu très nombreuses peuvent conduire à des éclosions multiples sur une zone peu étendue et créer ainsi une tornade de feu extrêmement dangereuse. Les sautes de feu peuvent se produire sur de courtes ou de longues distances selon les conditions du milieu. Les distances parcourues par les brandons peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres dans certains types de peuplements.

Ces différents types de feux peuvent se combiner ou se produire simultanément. Un feu de surface peut se transformer en feu de cimes et inversement.

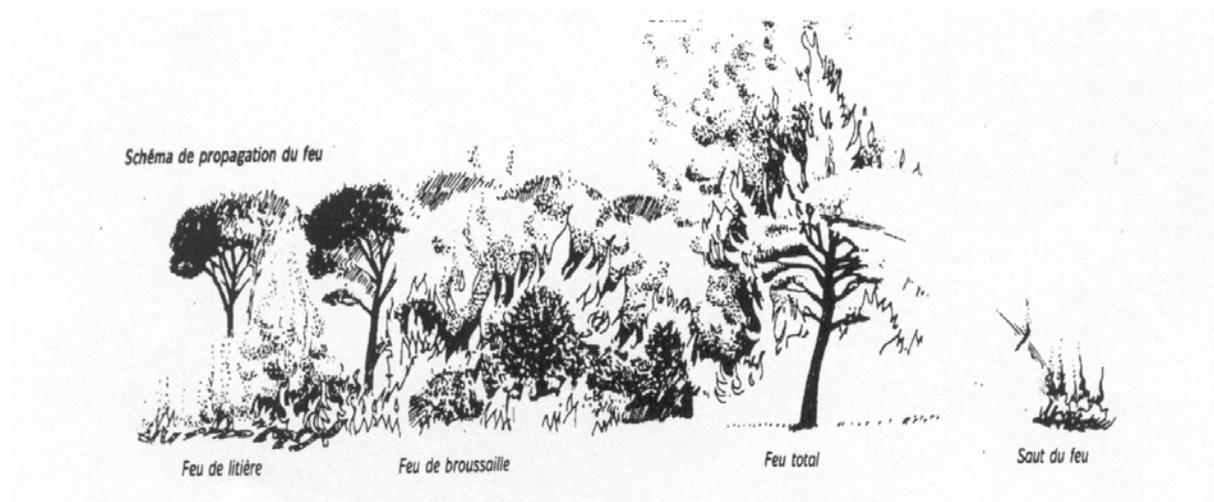


Fig. 21 : Schéma de propagation d'un feu

Source : CEMAGREF, 1989

- **Les vitesses de propagation des incendies** sont extrêmement variables. La vitesse de propagation d'un feu de surface ou d'un feu de cimes dépend des caractéristiques et de l'état de la végétation, de la pente et de la vitesse du vent.
 - la vitesse de progression du feu est plus élevée dans les formations végétales basses continues où la biomasse est faible (pelouses, landes, garrigues claires).
 - dans des formations arborées avec sous bois dense, cette vitesse diminue car la végétation forme un écran s'opposant au vent et aux transferts de chaleur. Elle peut atteindre 5 ou 6 km/h. En revanche la biomasse brûlée est plus importante.
 - Les tornades de feux se déplacent souvent à des vitesses comprises entre 5 et 10 km/h. en France, les feux sont considérés comme rapides à partir d'une vitesse de propagation de 1 km/h soit 0,28 m/s (FAO et CEMAGREF, 2001).

5-1-Facteurs naturels de propagation

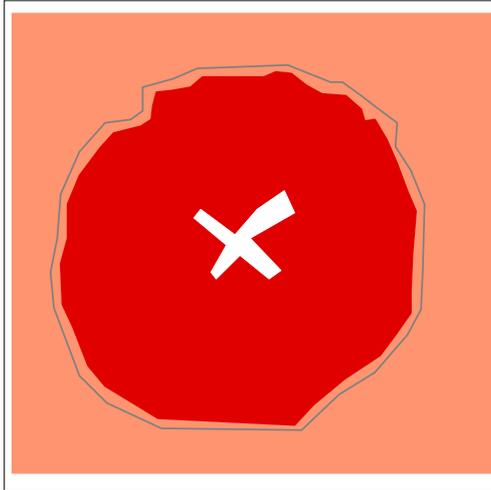
5-1-1-Structure et composition de la végétation

L'état de la végétation est un facteur de risque. Le nombre de départs de feux est lié en partie au degré de sécheresse des végétaux. La végétation est caractérisée par sa combustibilité qui représente son aptitude à propager le feu en se consumant et en libérant des quantités de chaleur plus ou moins importantes. La combustibilité est corrélée à la quantité de biomasse combustible (donc à la structure des peuplements) et à sa composition. Elle permet d'évaluer la part du risque liée à la puissance atteinte par le feu. Elle peut être calculée approximativement en multipliant la biomasse végétale combustible par son pouvoir calorifique. Les études de TRABAUD en vue de la cartographie du risque d'incendie ont insisté sur le rôle essentiel de la structure de la végétation. Elle correspond à l'agencement dans l'espace des diverses parties des végétaux et détermine dans une large mesure la vitesse et le type de propagation (feu de surface, feu de cime, feu de litière). En conclusion une solution de continuité entre les éléments fins peut faire obstacle à la convection et arrêter la propagation du feu (SEIGUE, 1985).

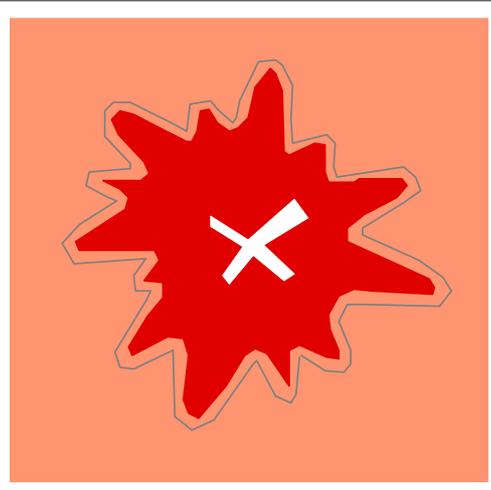
5-1-2-Rôle du vent dans la propagation du feu

Les mouvements de gaz et d'air ambiant se produisent même en l'absence de vent. Ce dernier joue un rôle majeur dans la propagation du feu. Il participe à l'apport d'air frais, donc d'oxygène, favorisant le transport des particules incandescentes en avant du front de flamme. Pour qu'une flamme se produise et s'entretienne, il faut que le pourcentage en volume d'oxygène restant présent dans l'air soit supérieur à 15,75 %, ce taux étant normalement de 20,94 % (Guide Technique International, Protection Des Forêts Contre les Incendies dans les Pays du Bassin Méditerranéen, 2000). La vitesse de propagation d'un incendie est étroitement corrélée à la vitesse du vent. Celle-ci conditionne donc l'ampleur de l'incendie. La direction du vent conditionne la forme finale du feu par rapport au point d'éclosion (évaluation des zones menacées par un feu éclos en un point donné, en fonction de la direction du vent). Si le vent est dans la direction de propagation du feu, les gaz vont s'écouler vers l'avant du front de feu, allant en s'accroissant avec la force du vent. Ceci amplifie donc le déplacement d'une masse d'air dans le sens horizontal (advection de chaleur) en direction de la végétation encore imbrûlée, accélérant son échauffement. La lutte sur le front d'un incendie par grand vent est impossible, les équipes de lutte ne peuvent intervenir que sur les flancs de feu. Ce facteur joue un rôle essentiel dans la propagation du feu, notamment en assurant le renouvellement de l'oxygène, à la manière d'un soufflet de forge.

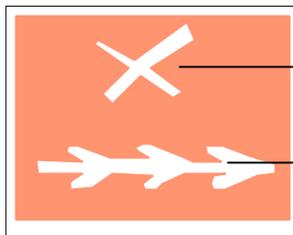
La figure suivante montre les différents types de propagation du vent en fonction du vent, du relief et du combustible.



Peu ou pas de vent ou de pente
Distribution uniforme de combustibles

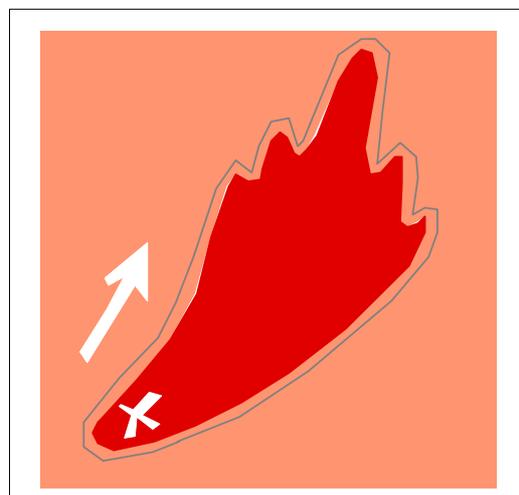


Vent variable ou topographie irrégulière
Distribution hétérogène des combustibles

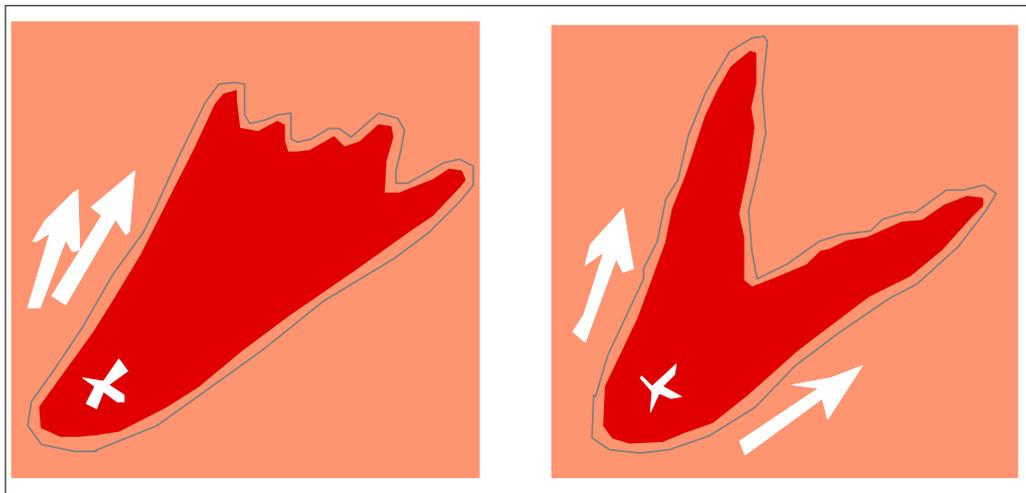


Point de départ

Direction et foyer du vent

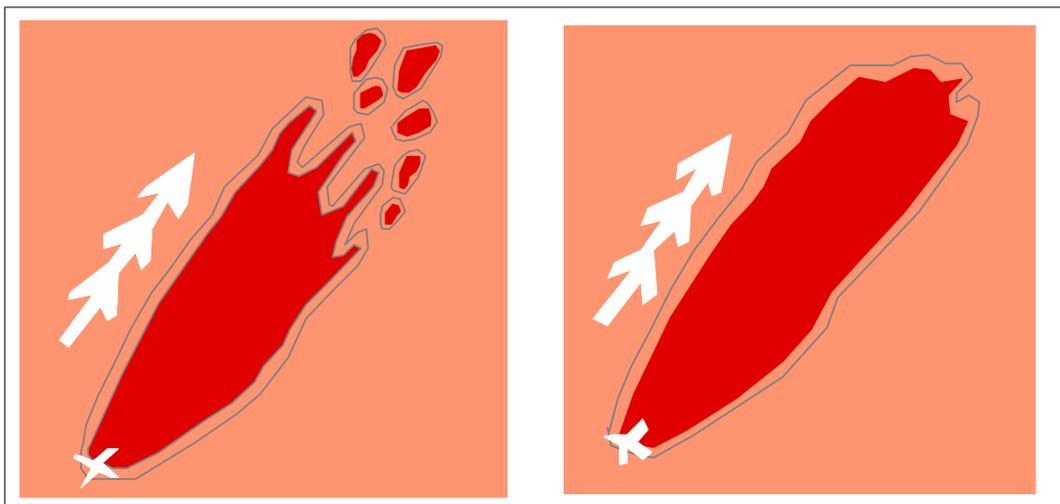


Vent ou pente modérés
Distribution uniforme des combustibles



Propagation plus rapide avec vent légèrement variable ou nul.

Plusieurs versants et direction variable du vent



Apparition de foyers secondaires

Feu poussé rapidement par un vent

Fig. 22 : Incidence des facteurs vents et topographie sur la propagation d'un feu

Source : TRABAUD, 1989

Conception : N. HESSAS

L'exposition aux vents dominants est répartie selon 3 classes :

- vent secteurs Est et Ouest = 1
- vent secteurs Sud-Ouest, Sud, Sud-Est = 2
- vent secteurs Nord-Ouest, Nord, Nord-Est = 3

Le vent de secteur Nord-Ouest, Nord, Nord-Est étant le plus favorable à la propagation d'un incendie.

5-1-3-Relief et exposition des versants : les alliés du feu

La pente modifie l'inclinaison relative des flammes par rapport au sol. Un feu montant une pente, favorise l'efficacité des transferts thermiques par rayonnement et convection ; il brûle donc plus rapidement. Un feu descendant voit sa vitesse considérablement ralentie.

L'exposition a un rôle indirect dans la progression d'un feu. La végétation est différente sur les versants chauds et frais. En général, les versants sud et sud-ouest présentent les conditions les plus favorables pour une inflammation et une propagation rapide.

La position dans le versant traduit les différentes phases d'accélération potentielle d'un feu ; elle est répartie en 4 classes :

- Fond de Vallon : 1
- Plateau : 2
- Versant : 3
- Haut versant : 4

6-Conclusion du chapitre III

Pour qu'un incendie se déclare et se propage, il a besoin de trois éléments fondamentaux : du combustible, de l'oxygène et de la chaleur, c'est ce que les gestionnaires appellent le triangle du feu. Le triangle du feu démontre que l'oxygène, le combustible et la chaleur sont, dans des proportions appropriées nécessaires pour créer un incendie. Si un de ces éléments est absent, un incendie ne peut pas se déclarer ou se propager. Les autres éléments sont les conditions climatiques.

Les façons dont les combustibles prennent feu, dont les flammes se développent et dont un feu non maîtrisé se propage constituent le comportement du feu. La compréhension de ce phénomène complexe est nécessaire. Des travaux dans les domaines de la prévention, de

la lutte et de l'après feu nous permettent de mieux comprendre, de mieux décrire les incendies de forêts et d'élaboration une meilleure prévention.

L'idée que nous puissions maîtriser les risques et donc notre destinée est un des progrès majeurs dans l'histoire de l'humanité selon BERSTEIN (2000). Ainsi le risque, concept abstrait, peut être quantifié. Cette démarche permet d'après PERRETI - WATEL, (1999) d'anticiper, de prévoir le risque, donc de le gérer ou de le réduire, de l'appivoiser au moins partiellement. Tout processus de prévention est alors confronté dans un premier temps à un besoin d'information sur le risque, ce qui nécessite de produire des connaissances sur le phénomène et ses conséquences dommageables et dans un deuxième temps d'en assurer la gestion.

Chapitre IV

Méthodes de protection et de gestion des forêts du département des Alpes-Maritimes, évolution de la législation (de 1716, création du premier corps de pompiers, au PPR (Plan de Prévention des Risques))



Chapitre IV : Méthodes de protection et de gestion des forêts du département des Alpes-Maritimes ; évolution de la législation (de 1716, création du premier corps de pompiers, au PPR (Plan de Prévention des Risques))

Le feu de forêt fait partie de l'écosystème, mais il devient un risque, quand par sa fréquence ou son intensité trop importante, il détériore la forêt au-delà de ce qui est admis et menace l'homme et ses activités. On constate que le risque d'incendie de forêt s'est développé au cours du 20^{ème} siècle avec les transformations socio-économiques. L'augmentation de la pression démographique et l'abandon de différentes pratiques agricoles et pastorales ont conduit au développement de la biomasse combustible et à la multiplication des zones urbanisées au contact des zones naturelles forestières. Ces espaces imbriqués sont d'autant fragiles que l'homme est responsable en grande partie des départs de feux.

Pour pallier l'augmentation de la vulnérabilité, plusieurs études ont été conduites sur la mise en place d'une politique de gestion du risque d'incendie de forêt, visant à limiter ses effets dommageables ; mais le problème reste toujours présent. Cette politique comprend de nombreuses actions qui relèvent essentiellement de la mission régaliennne des autorités publiques et qui sont souvent menées de manière concomitante pour prévenir les risques et lutter contre cela.

Les actions engagées poursuivent deux objectifs : d'une part diminuer les contraintes, en agissant sur les causes (traitement du phénomène), d'autre part diminuer les conséquences en réduisant la vulnérabilité (mise en place de protections, etc.) ou en augmentant les moyens de réparations (assurances, reconstructions, ...). Concrètement ces objectifs peuvent être atteints à travers deux types d'actions mises en œuvre avant ou après le déclenchement de la catastrophe.

Ce chapitre résume les moyens techniques et réglementaires mis en œuvre pour protéger les vies, les installations humaines et le milieu naturel. Son objectif est de couvrir de façon détaillée et exhaustive l'ensemble de la problématique liée au phénomène incendie de forêt nécessaire à l'élaboration d'un PPR (Plan de Prévention des Risques), de montrer la place des PPR dans le dispositif réglementaire actuel.

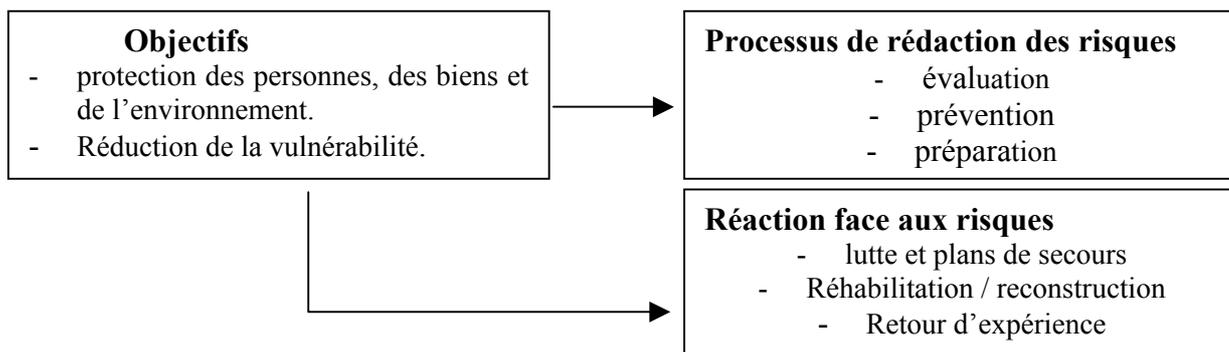


Fig. 23 : Processus de gestion des risques

Source : PARKER, 1992

Étymologiquement, prévenir signifie anticiper un événement pour empêcher qu'il ne se produise. En matière de risque naturel, la prévention a pour objectif de développer un ensemble de mesures destinées à empêcher tout dommage matériel et / ou humain, en réduisant la probabilité d'occurrence et de développement d'un risque, mais aussi sa gravité (en diminuant les impacts d'un phénomène naturel).

Or, toute politique de prévention est confrontée dans un premier temps à un besoin d'informations sur le risque, ce qui nécessite de produire des connaissances sur le phénomène et sur ses conséquences dommageables. Mais l'étude et l'analyse des risques (particulièrement en matière d'incendie de forêt) comportent des difficultés inhérentes à la complexité du phénomène.

1-Relation entre prévention et lutte

La prévention regroupe l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour réduire l'impact d'un phénomène naturel prévisible sur les personnes et les biens. Elle se traduit par des actions d'information des travaux et des mesures réglementaires visant l'occupation des sols.

Visant à réduire les impacts d'un phénomène naturel, c'est le fait d'agir avant le phénomène. La prévention des incendies se traduit par des actions d'informations, la mise en place préventive des équipements, des mesures destinées à réduire la vulnérabilité des personnes et des biens. La lutte, qui permet d'agir sur le phénomène en temps réel vient compléter la prévention.

Les deux tiers de surface brûlées sont généralement, enregistrées durant quatre à cinq jours chaque été, où se conjuguent les effets de la chaleur, de la sécheresse et du vent. C'est pourquoi, avec le concours de Météo France, la sécurité civile intensifie l'information du public à la veille de ces journées à hauts risques. L'alerte est diffusée par l'AFP (Agence France-Presse) puis relayée par les médias grâce à ce message « les précisions météorologiques font craindre pour les prochaines 48 heures une montée importante du risque d'incendie de forêts... », les services de police et de gendarmerie sont informés des situations à risques élevés et peuvent assurer des actions de surveillance renforcée des massifs les plus sensibles. La coopération accrue entre ces derniers, les acteurs de la surveillance et de la lutte contre les incendies, les services du ministère de la justice pour prévenir les départs de feu est une priorité du gouvernement ([www.interieur.gouv.fr/défense secu-civil](http://www.interieur.gouv.fr/défense_secu-civil), 2002).

2-Traitement des espaces à risques : importance de l'échelle départementale

L'application des mesures nationales de lutte contre les incendies de forêts requiert très tôt le recours à un zonage des espaces sensibles : le problème des incendies n'affecte pas l'ensemble du territoire français et, au sein des régions méditerranéennes elles-mêmes, tous les espaces ne sont pas également vulnérables. Il apparaît donc indispensable, pour optimiser les mesures de lutte, d'identifier nettement les espaces à risque et leur degré de vulnérabilité. On l'a vu, dès 1924 la loi du 26 mars prévoit dans les départements méditerranéens une série de mesures restreignant l'usage du feu en forêt ainsi que le classement des massifs forestiers sensibles. Ce texte introduit en fait les fondements d'un zonage à deux niveaux en distinguant implicitement :

- les espaces où le risque est le plus élevé et qui doivent être traités d'urgence par la réalisation de travaux de protection et une réglementation stricte de l'usage du feu en forêt ;
- et les zones où le risque est moindre et où seule cette dernière mesure sera appliquée.

2-1-Forêts classées : zones à équiper en priorité

Les moyens financiers disponibles étant évidemment limités, il s'agit, dans chaque département, d'identifier les espaces les plus vulnérables devant faire l'objet de travaux

d'équipement – notamment l'ouverture de tranchées pare-feu – dans les plus brefs délais. Le titre II du décret d'application de la loi de 1924 précise les modalités de ce classement et les critères à retenir (décret d'application du 20 mai 1924, arch. Dép. des Pyrénées orientales. Série IZ 90 in BOUSSET, 1998): «Le service forestier établit des propositions de classements par commune en les basant sur les risques particuliers, tels que sécheresse du climat, violence des vents, prédominance des essences résineuses, état broussailleux de forêts etc.... qui créent des dangers d'incendie ».

Les critères évoqués sont les facteurs de risques aujourd'hui encore les plus fréquemment cités, même si les nombreuses études sur l'inflammabilité et la combustibilité des différentes espèces végétales ont montré que les essences résineuses ici mises en cause ne sont pas forcément plus vulnérables que les feuillues. A cette exception près, les facteurs de risque sont bien identifiés. Pour autant, les critères de classement restent largement subjectifs : aucun seuil n'est fixé et le classement dépend donc très largement de l'appréciation des différents services forestiers au niveau départemental.

Dans les Alpes-Maritimes le classement aboutit à la délimitation, en juin 1926, d'une zone de 12 847 hectares de forêts, soit environ 12 % des surfaces boisées du département. Très majoritairement privés (d'après un rapport de M. Richerme in BOUSSET, 1998, inspecteur adjoint des Eaux et Forêts, les 12 847 hectares classés se répartissent de la manière suivante : 878 hectares de bois communaux soumis, 164 hectares de communaux non soumis et 11 805 hectares de forêts privées (aucune forêt domaniale n'est donc concernée). Ces espaces forestiers sont inclus dans le territoire de 31 communes, toutes situées dans la partie côtière du département.

Tableau 13 : Massifs forestiers classés en 1926 dans les Alpes-Maritimes.

Massifs forestiers	Superficie (hectares)
Cap Roux : Eze, Villefranche	105
Mont Rosetti : Roquebrune, Gorbio	67
Hubac Foran : Menton, Sainte-Agnès	196
La Maure : Carros, Gattières	87
Esterel : Auribeau, Mandelieu, Pegomas	3655
Grasse, Mouans-Sartoux, La Roquette	927
Cannes, Le Cannet	297
Antibes, Biot, Mougins, Valbonne, Vallauris	3920
Tourettes sur Loup, Vence, La colle, St Paul	1061
Roquefort, Le Rouret, Opio, Châteauneuf, Grasse, Villeneuve-Loubet, Cagnes	2532
Total	12847

Source : RICHERME in BOUSSET, 1998

Faute de statistiques complètes sur les incendies de cette période, il est difficile d'évaluer la pertinence du découpage mais dans un rapport de 1933 M. Richerme, inspecteur adjoint des Eaux et forêts à Grasse, (Monographie sur le service spécial des incendies de forêts du département des Alpes-Maritimes. Arch. Dép. Alpes-Maritimes, Cote 521W128), souligne les principales caractéristiques de la zone délimitée dans les Alpes-Maritimes.

« Le classement ne porte que sur des zones boisées sises en plaine ou basse montagne pour lesquelles le risque résulte principalement des conditions climatiques et de la facilité d'accès. Les bois classés [...] sont encore compris dans une région où la vie humaine est active avec une forte densité de population et un tourisme important ». Exemple selon SABATIER, 2003, les touristes qui s'entassent chaque été par millions dans des campings, parcs à caravanes et villas au milieu ou au bord de pinèdes et maquis hautement combustibles jouent avec le feu.

Cette remarque met en évidence les critères choisis pour le classement: on a retenu les zones affectées par les incendies estivaux, très sensibles certes par le nombre de feux et les superficies brûlées et également par l'impact matériel et psychologique sur une population dense et pour une bonne part constituée de touristes. D'ailleurs l'exclusion des secteurs montagneux est justifiée : « Les massifs boisés de la montagne, par contre, n'ont pas fait

partie du classement parce que leur altitude corrige et atténue la période de sécheresse [...], que leur orographie présente une succession de chaînes et de vallées donnant une fréquente alternance des expositions et que la vie humaine y est moins dense». Pourtant les statistiques disponibles, même si elles couvrent une période plus récente, laissent penser que les espaces montagneux ne sont pas totalement invulnérables.

Les archives des Alpes-Maritimes ont révélé l'existence d'au moins quatre arrêtés préfectoraux réglementant l'usage du feu en forêt qui modifient l'extension de la zone dangereuse après 1924 : à cette date est en effet délimité un espace d'un seul tenant qui englobe tout le territoire situé dans l'extrême sud du département - soit un total de 70 communes - à l'intérieur duquel l'usage du feu dans les zones boisées est réglementé. Ce choix ne semble en fait recouper que partiellement la répartition réelle des incendies dans le département, d'où la nécessité d'étendre la zone dangereuse.

Cette extension, qui semble justifiée au regard des statistiques se fait par diffusion vers le nord avec l'inclusion de communes de plus en plus éloignées du littoral. La première modification est effectuée en 1941 (Arrêté préfectoral du 7 juillet 1941, article 5, Archives départementales des Alpes-Maritimes, cote 521 W 128) avec l'ajout de six communes supplémentaires à la zone délimitée en 1924 : Saint Vallier, Caussols, Gourdon, Le Bar Sur Loup, Lucéram et Touet de l'Escarène. Cette extension reste très modeste et ne change en rien les caractéristiques de la zone dangereuse, sensiblement identiques à celles des forêts classées qui y sont d'ailleurs incluses. Pourtant les statistiques disponibles pour la période 1940-1955 ont montré que l'intérieur du département, y compris des zones de haute montagne, connaît également des incendies importants. C'est en fait un arrêté de 1943 (Arrêté préfectoral du 10 juin 1943, article 5, Archives départementales des Alpes-Maritimes, cote 521W128) qui marque l'évolution la plus considérable de la zone dangereuse : le nombre de communes concernées passe en effet de 76 à 139 pour une superficie largement multipliée par deux. La zone inclut à présent des secteurs de moyenne et de haute montagne. En fait seuls les extrêmes nords - ouest et nord - est du département sont exclus. L'arrêté préfectoral du 22 juillet 1969 prévoit l'application de la réglementation sur l'ensemble des Alpes-Maritimes. Mais cet arrêté qui comporte toute une série de nouvelles mesures – plus restrictives - introduit un nouveau découpage du département : si la totalité du territoire départemental est soumise à l'interdiction de faire du feu à proximité des secteurs boisés, l'extension des nouvelles dispositions se limite aux secteurs les plus sensibles. Les Alpes-Maritimes se

trouvent donc cette fois découpées en trois zones : la zone littorale, qui à quatre communes près est identique à celle définie en 1941, apparaît comme la plus protégée puisque s’y appliquent à la fois l’interdiction de :

- faire du feu à proximité des forêts ;
- interdiction de fumer dans les espaces naturels (forêts, landes, maquis) ;
- déposer des matières inflammables aux abords des habitations ;
- et enfin, l’obligation de procéder chaque année à un débroussaillage dans un rayon de 50 mètres autour de toutes les constructions.

Sur la deuxième zone – dans les limites correspondent à celles fixées en 1964, à l’exclusion de la zone littorale déjà évoquée – seule cette dernière mesure n’est pas imposée. Seule la dernière zone – c’est-à-dire les 17 communes qui n’étaient pas concernées par l’arrêté de 1964 – est soumise à la réglementation de l’usage du feu à proximité des forêts.

L’analyse des espaces d’application des arrêtés préfectoraux dans les Alpes-Maritimes montre donc un accroissement considérable de la zone évaluée comme sensible et ce, par extensions successives vers le nord du département, c’est à dire par l’inclusion des espaces montagnards. Cependant l’année 1969 marque un tournant dans la mesure où l’arrêté pris au cours de cette année introduit un nouveau découpage du territoire départemental avec introduction d’une législation plus ou moins restrictive selon les lieux. Les archives disponibles ne révèlent malheureusement rien sur les motivations de ce choix et les critères retenus pour le zonage.

Plus qu’une diffusion des incendies sur de nouveaux espaces pendant la période étudiée et donc un accroissement réel du risque, l’étude des arrêtés préfectoraux dans les Alpes-Maritimes montre en fait une extension du risque perçu et une adaptation continue de la législation à cette évolution : il suffit qu’un rapport insiste en 1942 sur les problèmes spécifiques de hauts cantons mal connus car éloignés des centres de décision départementaux et d’une importance stratégique moindre que le littoral, pour que l’année suivante la législation soit adaptée. Les textes préfectoraux ont donc été modifiés au fur et à mesure que s’établissait une meilleure connaissance du risque et qu’évoluait la perception des espaces naturels et des incendies (BOUSSET, 1998).

3-Volonté de mise en place d'une politique de prévention par les différents acteurs

La politique de prévention correspond aujourd'hui à une forte volonté de mise en cohérence des actions interministérielles menées par l'Etat avec les collectivités territoriales et les propriétaires forestiers.

En région méditerranéenne, une politique de prévention et de protection contre les incendies de forêts a été mise en place progressivement depuis les années 60. Elle a permis la création des unités de forestiers sapeurs en 1973, le développement des PIDAF à partir de 1980. Avec la création du Conservatoire pour la Forêt Méditerranéenne (CFM) en 1987, la politique de prévention s'appuie sur un outil financier d'importance majeure.

En pratique, la coordination des actions est confiée au préfet de la Région Provence Alpes Côte d'Azur. La délégation à la protection de la forêt méditerranéenne, service préfectoral, met en œuvre les crédits du CFM, en fonction des instructions des différents ministères impliqués dans la prévention et la lutte, et également en fonction de la note d'orientation du préfet de zone. La délégation impulse également un certain nombre d'outils et de pistes de réflexion. Citons le guide de normalisation des équipements, le retour d'expérience, l'organisation des séminaires, la cartographie réglementaire ou encore le traitement des interfaces. Elle recadre ou introduit les travaux de recherche dans les politiques départementales. L'entente interdépartementale en vue de la protection de la forêt méditerranéenne est chargée des missions qui ne relèvent pas de l'Etat. C'est un établissement public interrégional administré par les conseils généraux. C'est le partenaire privilégié de l'Etat dans la mise en œuvre de la politique de prévention et de lutte. Elle possède des structures importantes (école de Valabre, CEREN) qui lui permettent d'initier des pistes qui ne sont pas, a priori, retenues par l'Etat. Elle a financé en particulier l'achat des hélicoptères bombardiers d'eau, des retardants. Elle organise des sessions de formation pour les élus.

La campagne de lutte contre les feux de forêts très soutenue à l'ouest de la méditerranée, coïncidant avec une réduction drastique des aides de l'Union Européenne pour la prévention des incendies, restera certainement un point marquant de l'année 2003. Les périodes critiques favorables à l'incendie ont conduit à l'utilisation maximale des systèmes de défense de chaque pays, ainsi qu'à mettre en pratique une solidarité forestière qui a consisté en l'envoi de moyens de pays vers d'autres. Les moyens aériens espagnols, malgré l'intensité des incendies de ce pays, ont été utilisés pendant 19 jours pour lutter contre le feu au Portugal

et pendant 5 jours en France pour un coût d'1million d'Euros. Les moyens de lutte français ont été sollicités pour 2 jours en Espagne. Le Portugal a reçu le soutien du dispositif italien, et pour la première fois, le Maroc a lui prêté des avions pour soutenir ces opérations d'extinction. Le résultat de l'élaboration du nouveau règlement (CE) 2152/2003 du Parlement Européen « Forest Focus », remplaçant le règlement (CEE) 2158/92 sur la prévention des incendies de forêts et le 3528/86 sur les effets de la pollution sur les forêts, contraste fortement avec ces faits. Pendant son élaboration, le faible intérêt de la commission européenne et de divers Etats membres du Nord et du centre de l'Europe pour maintenir les actions préventives du règlement (CEE) 2158/92 a été mis en évidence. Grâce à l'intervention de certains parlementaires européens, les mesures de prévention n'ont pas entièrement disparu, mais se sont vues dotées de la « fabuleuse » subvention de 9 millions d'Euros pour la période 2003-2006, correspondant à 2,25 millions annuels, soit bien moins que les 12 millions annuels octroyés par le règlement (CEE) 2158/92. la majeure partie des 52 millions d'Euros du reste de la subvention du nouveau règlement (CEE) 2152/2003 semble être destinée au maintien d'un réseau de surveillance des dégâts, laissant une petite part au nouveau système européen d'information sur les feux de forêts (EFFIS), seule mesure positive bien évidemment réduite si elle ne donne pas lieu à des actions préventives correspondant à la gravité du problème des feux de forêts. Peut être que ce contraste négatif entre les dommages des incendies dans l'union européenne et le désintérêt révélé par le nouveau règlement est plus un signe des incertitudes globalement observées en Europe ? La solidarité de l'été 2003 entre les pays méditerranéens qui a vu la mise en commun des ressources dans la lutte contre le feu est un élément positif. Le chemin de la reconstruction de l'esprit européen passe probablement par la coordination de l'ensemble des régions méditerranéennes face aux questions des incendies, alors même que leurs effets (changements climatiques, érosion, dégradation des habitats, menace sur la biodiversité) dépassent la seule Méditerranée, voire même l'Europe, et concernent la planète entière (VELEZ, 2004).

3-1-Défense des forêts contre les incendies en France : un puzzle souvent remanié

Aujourd'hui la législation de la protection des forêts contre l'incendie ne fait pas l'objet d'un texte unifié. Les règlements relatifs à cette question sont en effet disséminés et il faut se référer à la fois au code des communes (responsabilités en matière de sécurité publique) au code rural, au code de l'urbanisme (réglementation des constructions en forêt)

mais aussi et surtout au code forestier. Les années noires ont souvent stimulé le législateur dans le sens d'un renforcement des textes et l'adoption de mesures visant à faciliter leur mise en application. C'est ainsi qu'en 1966 une importante loi forestière a été adoptée (loi n° 66 505 du 12 juillet) puis modifiée successivement en 1980 et surtout en 1985 par une nouvelle loi forestière 1988 (loi n° 85 1273 du 4 décembre) elle-même complétée par un décret de 1988 (décret n° 88 1147 du 21 décembre modifiant le code forestier). Trois ans plus tard, après deux étés catastrophiques en 1989 et 1990, le Sénat prend l'initiative d'un nouveau texte sur les risques liés à l'urbanisation en forêt (loi n° 91 5 du 3 janvier) avant que ne soit votée une loi sur la redéfinition du débroussaillage et un renforcement des mesures de protection en 1992 (loi n° 92 613 du 6 juillet). Cette succession d'ajouts et de modifications nuisent évidemment à la lisibilité du dispositif législatif en compliquant notablement des textes déjà passablement éparpillés. A cet égard, le champ d'application des mesures vient encore d'avantage brouiller la lecture. Une des caractéristiques essentielles de la législation est en effet l'absence d'unité dans ces champs d'application aussi bien du point de vue spatial que temporel. Certaines mesures sont applicables de manière permanente alors que d'autres ne valent qu'en période de risque exceptionnel (fermeture de certaines voies à la circulation par exemple) : certains règlements concernent l'ensemble du territoire, d'autres seulement les espaces restreints selon des critères variables qui peuvent aller du statut (forêts soumises au régime forestier, forêts classées) à la localisation dans des régions particulièrement sensibles.

Les mesures spécifiques visant à prendre en compte l'importance particulière du risque et l'originalité du milieu naturel dont bénéficient les régions du pourtour méditerranéen sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 14 : les principales mesures de protection de la forêt contre l'incendie et leur champ d'application

Champ d'application	Permanent	temporaire
Ensemble du territoire national		
Partout	<ul style="list-style-type: none"> - Interdiction du pâturage pendant 10 ans sur les terrains incendiés. - Arrêté préfectoral pouvant obliger les propriétaires à débroussailler sur 50 m autour des constructions en forêt - Arrêté préfectoral pouvant obliger le nettoyage des coupes sur les exploitations forestières - Arrêté préfectoral pouvant prescrire des règles spéciales de gestion forestière sur une bande de 50 m de part et d'autres des routes. - Plan de protection contre les risques prévisibles ou POS pouvant interdire ou réglementer les constructions et prescrire diverses mesures de sécurité (normes de construction, débroussaillage). 	<ul style="list-style-type: none"> -Arrêté préfectoral avant réglementer l'emploi du feu par les propriétaires dans et à une distance de moins de 200 m des bois. Forêts, plantations et reboisements, landes et maquis incendiés où le pâturage est interdit pour dix ans. -Arrêté préfectoral pouvant réglementer l'incinération de végétaux sur pied à moins de 400 m des bois, forêts. -Arrêté préfectoral pouvant interdire à toute personne de fumer dans les bois et forêts. -Arrêté préfectoral pouvant interdire d'apporter des allumettes et d'autres appareils produisant du feu en forêts.
Forêts soumises	<ul style="list-style-type: none"> - Interdiction de certaines constructions ou activités dans ou à proximité des forêts soumises sans autorisation préfectorale. 	
Massifs classés	<ul style="list-style-type: none"> - Obligation pour les propriétaires forestiers de se constituer en association syndicale pour la réalisation de travaux DFCI dans un délai d'un an après le classement. - Obligation de débroussaillage dans un rayon de 50m autour des constructions. Peut être portée à 100 m sur décision municipale ou préfectorale. - Possibilité d'instaurer des servitudes de passage et d'aménagement pour assurer la continuité des voies de défense contre l'incendie. - Obligation de débroussaillage des terrains de camping de l'ensemble des terrains situés dans une zone urbaine du POS, dans une ZAC ou dans un lotissement. - L'état ou les collectivités territoriales peuvent procéder à un débroussaillage sur une bande de 20m de part et d'autre des zones ouvertes à la circulation publique. - Interdiction de circulation sur les voies de défense contre les incendies. 	
Régions PACA, Languedoc –Roussillon, Corse et départements limitrophes		
Partout	<ul style="list-style-type: none"> - Interdiction du pâturage pendant 20 ans sur les terrains incendiés - Interdiction de circulation sur les voies de défense contre l'incendie - Possibilité d'instaurer des servitudes de passage et d'aménagement pour assurer la continuité des voies de défense contre l'incendie. - Obligation de débroussaillage dans un rayon de 50 m autour des constructions situées en forêt peut être portée à 100m sur décision municipale ou préfectorale. - L'état ou les collectivités territoriales peuvent procéder à un débroussaillage sur une bande de 20 m de part et d'autre des voies ouvertes à la circulation publique. 	<ul style="list-style-type: none"> -Arrêté préfectoral pouvant interdire le passage sur des terrains boisés en dehors des zones ouvertes à la circulation publique. - Arrêté préfectoral pouvant interdire la circulation et le stationnement sur certaines zones publiques en forêt.
PPRF	<ul style="list-style-type: none"> - Les travaux d'aménagement, d'équipement ainsi que les coupures par exploitation agricole peuvent être déclarés d'utilité publique sur demande du ministère de l'agriculture ou des collectivités territoriales - Obligation de débroussaillage des terrains de camping, de la totalité des terrains situés dans une zone urbaine du POS, dans une ZAC ou dans un lotissement. - Arrêté préfectoral pouvant obliger le débroussaillage sur une bande de 5 m de part et d'autres des lignes électriques. 	

Source : C.BOUSSET,1998

Le département des Alpes-Maritimes demeure en fait l'échelon privilégié de la protection de la forêt contre l'incendie et une bonne partie des règlements en vigueur prennent la forme d'arrêtés préfectoraux pouvant s'appliquer sur tout ou partie du territoire départemental.

Les dernières réformes législatives visaient pour une bonne part à faciliter les opérations d'aménagement et d'équipement des massifs forestiers. Outre les problèmes financiers, ces opérations se sont heurtées pendant longtemps à la structure de la propriété forestière. Le financement des travaux et leur entretien est pour une bonne part à l'origine de la distribution qui existe dans la loi entre forêt classée et forêt des régions méditerranéennes. Le classement des massifs forestiers, rendu possible par la loi sur la protection de la forêt en 1924 déjà évoquée, implique, dans un délai d'un an après la décision, la création d'associations syndicales regroupant les propriétaires forestiers de la zone. A charge pour les associations de programmer, de financer et d'exécuter des travaux d'aménagement et de protection. Ce type de mesures a connu un certain succès dans la région des Landes mais s'est très vite heurté, dans les régions méditerranéennes, à la faible rentabilité économique des forêts et à la résistance, voire même souvent à l'absence des propriétaires.

C'est pour pallier ce problème que la législation a par la suite réservé un sort particulier aux régions méditerranéennes. A défaut des massifs classés, l'état a donc décidé de permettre par la loi de 1966 la création de périmètres de protection et de reconstitution forestière (PPRF). Il s'agit là d'une mesure plus autoritaire aboutissant à la déclaration d'utilité publique (DUP) des travaux de DFCI. Le premier de ces périmètres a été délimité dans le massif des Maures en 1966. Mais la procédure très lourde puisqu'elle nécessitait un décret du conseil d'état, n'a une fois encore pas connu beaucoup de succès. La loi forestière de 1992 l'assouplit. Elle permet en outre d'étendre la déclaration d'utilité publique aux coupures agricoles utilisées dans le cloisonnement des massifs forestiers. Le financement des travaux engagés au sein des périmètres est assuré par la ou les collectivités locales à l'origine de la (DUP). Mais la loi précise qu'elles peuvent « faire participer aux dépenses relatives aux travaux d'aménagement et d'équipement pour prévenir les incendies, à l'exclusion des travaux d'aménagement et d'équipement pour prévenir des incendies, à l'exclusion des travaux de mise en culture, les personnes qui ont rendu ces travaux et aménagements nécessaires ou y trouvent un intérêt ». En théorie les propriétaires forestiers voisins ou les propriétaires de résidences en forêt ou à proximité peuvent être contraints de participer

financièrement. On en arrive rarement là, même si, et ce point est important, la législation sur l'urbanisation des zones forestières tend progressivement à se renforcer.

4-Résorption des causes de feux de forêt

4-1-Décharges sauvages

Un déchet se définit d'après la loi du 15 juillet 1975 comme tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble, abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. On distingue les ordures ménagères, les déchets encombrants, les déchets d'origines commerciale et artisanale, les déchets industriels.

La loi impose aux communes d'organiser sur le territoire soit directement, soit par l'intermédiaire de leur groupement, un service d'élimination des déchets des ménages. Ce service concerne aussi les déchets d'autres origines qui, eu égard à leurs caractéristiques et aux quantités produites, peuvent être éliminés sans sujétions techniques particulières et sans risques pour les personnes et l'environnement, dans les mêmes conditions que les déchets des ménages.

Des équipements divers tels que les poteaux électriques et téléphoniques, les clôtures, les panneaux, sont aussi endommagés ou détruits par le feu

5-Prise en compte de l'aménagement et de la gestion de l'espace

5-1-Risque essentiellement urbain et non forestier

Le phénomène naturel ou l'aléa feux de forêt existait depuis longtemps, mais ne constituait pas un risque ou une menace pour l'homme, de sorte que les archives ne répertorient essentiellement que l'impact des feux de forêts sur les villes. Depuis Rome, sous le règne de Néron en 64 après J.C., jusqu'à Chicago en 1871 et Tokyo en 1923, les incendies touchent essentiellement les grandes villes en détruisant les maisons, réduisant les habitants à la misère. On retiendra pour illustrer ce phénomène, le grand incendie de Londres en 1696 qui a sérieusement endommagé la ville. Il fallut en effet quatre jours pour maîtriser cet

extraordinaire incendie qui avait pris naissance dans une boulangerie. Londres comprenait alors 250 000 à 500 000 habitants. Les conditions climatiques extrêmes (grandes sécheresses et fort vent) mais également l'architecture et les matériaux avec lesquels était construite la majorité de la ville (bois et torchis) étaient propices à la propagation rapide du feu. Le sinistre a détruit 13 000 maisons sur une surface de 175 hectares. Suite à cette catastrophe, la reconstruction est effectuée en vue de prévenir de futurs incendies : on voit apparaître une des premières opérations d'urbanisme. La reconstruction est fondée sur un plan d'ensemble, au sein duquel les initiatives individuelles sont interdites, l'obligation est également faite d'utiliser la brique à la place du bois.

Ce désastre amène également la création en Angleterre du « Fire Office », qui donnera naissance en 1696 à plusieurs compagnies d'assurances, dont la Lloyd's. Ces différentes créations ont favorisé le développement de l'assurance incendie au 17^{ème} siècle dans les pays de l'Europe du Nord où l'utilisation systématique du bois, pour la construction de maisons et leur chauffage, aggravaient singulièrement les risques d'incendie, d'autant plus qu'à la même époque l'accroissement de la population amenait un développement rapide et anarchique des agglomérations.

Devant la liste impressionnante des incendies, de nombreuses mesures ont été prises pour les éviter et protéger les populations :

- la lutte contre le feu reposait sur toute la population chargée de mettre en œuvre des moyens de prévention et de surveillance. Les moyens de lutte étaient extrêmement sommaires : ils consistaient souvent, quand le feu n'était plus contrôlable, à détruire les maisons pour isoler un quartier et stopper la propagation du feu. Petit à petit, se sont mis en place des services de personnes chargés spécifiquement de la protection contre les incendies. A cet effet, chaque ville mettait en œuvre ses moyens propres. Ainsi à Strasbourg l'organisation, la prévention et la lutte contre les incendies remontent au 15^{ème} siècle, la création d'un corps de gardes- pompiers à Paris date de 1716.
- Concernant les constructions, des mesures en matière d'urbanisme prennent en compte le feu à partir du 15^{ème} siècle dans les villes françaises (limitation du bois dans les constructions).

A la suite de ces mesures de prévention et de reconstruction, le risque d'incendie en ville diminue. En revanche apparaît un autre risque lié à la forêt et à l'évolution de l'occupation du sol.

5-1-1-Impact de l'accroissement urbanistique sur les départs de feux

Pendant des siècles, l'interaction entre la forêt (notamment les forêts tempérées) et l'homme a été constante et en perpétuelle évolution (DONOSO, 1997). L'action de l'homme a entraîné une évolution des espaces forestiers au cours de l'histoire, les alternances de déboisement et de reforestation, de culture et d'aménagement, ont considérablement modifié l'environnement tout en ayant des actions différentes sur les risques naturels.

Pour répondre à une demande croissante d'installation d'une population nouvelle, une grande partie des communes du département sont contraintes d'étendre leurs zones constructibles. Le choix des milieux boisés comme sites constructibles s'explique suivant différents critères: qualité du paysage, contraintes liées aux autres occupations des sols (agriculture) ou aux risques naturels reconnus (inondations), engouement des citoyens pour la nature (et par identification pour la forêt), etc...Cependant l'extension des zones constructibles en bordure ou à l'intérieur des milieux boisés composés pour l'essentiel d'une végétation méditerranéenne sensible au feu, implique la prise en compte du risque incendie. Le risque est d'ailleurs identifié par le code forestier (Art L 311-3, 8^e et 10^e) comme motif d'opposition à l'autorisation de défricher préalable au permis de construire, bloquant de fait la construction des parcelles boisées. Ainsi l'extension présente d'autres inconvénients au regard de l'intérêt général et de la conservation des bois ; elle ne peut se réaliser sans un aménagement en interface.

L'interface est un espace de protection peu sensible au feu, intercalé entre la zone à protéger et le massif boisé sensible, conçu comme une rupture des interactions milieu boisé/milieu anthropique qui répond donc à plusieurs objectifs:

- fragmentation et diminution de l'intensité d'un incendie par réduction de la biomasse combustible ;
- espace de sécurité permettant une lutte efficace contre le feu ;

- zone tampon à risques réduits de départs de feux provenant des habitations vers la forêt.



Photo 8 : Interactions milieux boisés / milieux anthropiques

N.HESSAS, 2003

La mise en œuvre des interfaces soulève plusieurs problèmes :

5-1-2-Limiter les effets de l'urbanisation

L'accroissement quantitatif du nombre de départs de feux résulte directement de l'abandon des modes de mises en valeur traditionnels de l'espace rural qui contribuaient à l'entretien des massifs forestiers. Parallèlement la fréquentation de ces massifs à des fins purement récréatives s'est accrue de manière exponentielle, tandis que le mitage de la forêt par une urbanisation anarchique aggravait les risques : non seulement les dégâts matériels et les pertes humaines se sont potentiellement accrus mais en outre la présence d'un habitat en forêt monopolise l'attention et les efforts des pompiers au détriment de la lutte active et de la protection. Les forces se disséminent et s'épuisent à défendre des habitations au lieu d'attaquer réellement l'incendie. Pour cela et compte tenu de l'importante pression foncière dans les massifs périurbains, il est apparu nécessaire de réglementer plus strictement les constructions en forêt. La première mesure passe par l'interdiction de défrichage et de changement d'affectation des terrains après incendie, de manière à empêcher toute veilléte de

mise à feu volontaire. Cela n'empêche pas les fraudes grâce à la négligence et la passivité, voire la complicité de certaines municipalités, peu sensibles aux questions forestières.

D'une manière générale l'objectif de la législation actuelle est double : s'attaquer aux zones existantes afin d'assurer les meilleures conditions de sécurité possibles aux constructions et d'autre part prévenir toute nouvelle urbanisation des zones les plus sensibles. Pendant longtemps les autorités ont disposé de bien peu de moyens pour cela d'autant que les maires étaient rarement sensibilisés à la question. Mais depuis le milieu des années quatre-vingts les outils disponibles se sont considérablement accrus. En matière de protection des habitations et constructions les lois de 1985 et 1992 prévoient le débroussaillage de l'ensemble des terrains (et non plus seulement une zone de 50 ou 100 mètres autour des constructions) inclus dans une zone urbaine du plan d'occupation des sols, dans une zone d'aménagement concertée ou dans un lotissement. Les terrains de camping sont également soumis à cette obligation.

Depuis 1991, des normes ou des restrictions à la construction peuvent en outre être imposées pour risque d'incendie. En 1982 la notion de plan d'exposition aux risques naturels (PER) a fait son apparition pour limiter les conséquences des catastrophes naturelles prévisibles. Cependant la loi, dans une énumération qui n'avait pas prétention à être exhaustive, ne citait pas nominalelement le cas des incendies de forêts. Pour cette raison, les plans d'expositions aux risques n'ont guère été appliqués dans le domaine forestier. Pour pallier ce manque une loi de 1991, à l'initiative du Sénat suite aux graves feux de 1989 et 1990, a instauré les plans de zones sensibles aux incendies de forêts (PZSIF) (loi n° 91-5 du 3 janvier 1991). Pour contrecarrer la résistance ou tout simplement la passivité de nombreuses communes, l'établissement et la révision des PZSIF sont prescrits par un arrêté préfectoral qui fixe l'étendue des périmètres concernés après enquête publique. En cas d'avis défavorable d'une commune ou du commissaire enquêteur, le PZSIF est approuvé par décret du conseil d'état (BOUSSET, 1998). Ces plans donnent lieu à un zonage du territoire pouvant comporter trois cas de figure et qui surtout s'imposent au plan d'occupation des sols. :

- Zone A : interdiction de toute construction nouvelle ;
- Zone B : Interdiction de toute nouvelle construction isolée et interdiction de toute installation nouvelle de loisirs (camping, village de vacances...) ;
- Zone C : Pas d'interdiction de construire.

Le plan fixe pour chacune des zones une série de normes de construction et de sécurité en rapport avec le risque d'incendie qui peuvent s'appliquer y compris aux installations existantes (LAGARDE, 1999).

L'objectif est donc bien de limiter les risques futurs tout en renforçant la sécurité des installations existantes. Mais ces PZSIF n'ont connu qu'une existence éphémère, puisque les décrets d'application n'ont paru qu'en 1992 et remplacés dès 1995 par la loi Barnier.

5-1-3-Instruments de planification et de gestion de l'urbanisme

Selon CHRISTINI, 1995 in BLANCHI (2001) le droit de l'urbanisme n'a pas pour préoccupation première et directe la prévention et le traitement des risques et notamment des risques naturels. Très souvent, le droit de l'urbanisme ne prévient pas les risques, ni même ne se préoccupe de les réduire. Il veille simplement à ce qu'ils n'existent pas ou ne se produisent pas là où ils sont susceptibles de gêner l'urbanisation ou les habitants. Ainsi le droit de l'urbanisme n'a pas pour objectif premier de prévenir les risques. Cependant, il permet indirectement de limiter les interfaces forêt / habitat, de protéger ainsi la population des risques d'incendie, tout en respectant un principe d'équilibre entre le besoin de développement des zones d'activités et habitat et la prévention des risques naturels (cf. l'article L 121-1 du code de l'urbanisme).

La réglementation en matière d'urbanisme peut être régionale ou locale. Les documents d'urbanisme sont donc établis en respectant la hiérarchie suivante:

Au niveau régional

- L'état peut établir des Directives Territoriales d'Aménagement (DTA): instaurées par la loi d'orientation et d'aménagement du territoire du 4 février 1995, ces directives élaborées à l'initiative et sous la responsabilité de l'état sont approuvées par décret en Conseil des ministres. Elles s'appliquent à certaines parties du territoire présentant des enjeux importants, afin de fixer les orientations fondamentales de l'état. Elles permettent d'intégrer la problématique risque naturel dans l'aménagement du territoire (elles peuvent être utilisées à l'échelle où elles sont établies pour mettre en exergue les zones prioritaires de risque en vue de la réalisation des PPR). Actuellement aucune DTA n'a encore été achevée.

- Le Projet d'Intérêt Général (PIG) a été envisagé comme un contrepoids aux larges compétences transférées aux communes lors de la décentralisation. Il est utilisé comme une disposition du pouvoir étatique permettant d'intervenir dans la planification urbaine décentralisée. L'article R121-13 précise ses modalités d'utilisation. Il peut concerner tous « ouvrage » ou « travaux d'utilité publique » destinés notamment à prévenir les risques d'inondations, d'avalanches, de glissements de terrain d'une certaine importance. Il peut aussi prendre la forme d'un projet immatériel, comme par exemple un ensemble de recommandations destiné à prévenir, dans un périmètre donné, les conséquences d'une catastrophe naturelle.

A l'échelon local

- la planification locale est élaborée à travers les schémas de cohérence territoriale (document remplaçant les schémas directeurs), document intercommunal et les plans locaux d'urbanisme (remplaçant les Plans d'occupation du sol) document d'aménagement communal.
- le Schéma de Cohérence Territoriale (entré en vigueur depuis le décret du 27 mars 2001) remplace le Schéma directeur (SD). Selon l'article L122-1 du code de l'urbanisme «les SCT présentent le projet d'aménagement et de développement durable retenu, qui fixe les objectifs des politiques publiques d'urbanisme en matière d'habitat, de développement économique, de loisirs, de déplacements de personnes et des marchandises (...). Pour mettre en œuvre le projet d'aménagement et de développement durable retenu, ils établissent dans le respect des équilibres résultant des principes énoncés aux articles L 110 et L 121-1, les orientations générales de l'espace et de la restructuration des espaces urbanisés et déterminent les grands équilibres entre les espaces urbains et urbanisés et les espaces naturels et agricoles ou forestiers (...). A ce titre, ils définissent notamment les objectifs relatifs à la prévention des risques. La différence entre SD et SCT, se situe dans la prise en compte pour les SCT de l'ensemble des politiques menées au niveau de l'agglomération (urbanisme, logement, déplacement, prévention).
- Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) remplace le Plan d'Occupation des Sols (POS) entré également en vigueur depuis le décret du 27 mars 2001, le PLU sera mis en œuvre lors de la procédure de révision des POS actuels). L'objet des PLU est de définir un projet d'aménagement et de développement durable de la commune. Dans l'ensemble, les dispositions concernant le droit des sols sont peu modifiées.

Actuellement, les communes dotées d'un POS rendu public ou approuvé gèrent l'affectation de leurs sols. Les communes ont le devoir de prendre en considération l'existence de risques naturels sur leur territoire, notamment lors de l'élaboration de documents d'urbanisme. Par exemple les zones ND ne sont pas constructibles. Ces zones n'existeront plus dans les PLU, remplacées par des zones N.

- Les dispositions du POS conditionnent la délivrance des autorisations d'utilisation ou d'occupation du sol (nous retiendrons parmi les AUS : le permis de construire et l'autorisation des terrains de camping sachant que d'autres existent également : déclaration de travaux, etc.) ? Les communes ont l'obligation de prendre en compte le risque lors de l'examen de demandes d'autorisation d'occupation du sol.



**Photos 9 : Habitations brûlées dans une forêt à proximité d'une route
« Cagnes-sur-Mer »**

N. HESSAS, 2003

Cependant, les mesures en matières d'urbanisme concernent essentiellement la réglementation de l'occupation du sol : elles permettent que des biens futurs ne soient pas soumis au risque. L'intégration du risque dans les documents d'urbanisme permet de traiter les zones à risques en interdisant toutes nouvelles constructions mais ne traite pas les zones déjà construites. La prévention repose sur des mesures spécifiques (BLANCHI, 2001).

5-2-Brûlage dirigé

Le feu peut être dans certaines conditions, un outil pour la protection des forêts contre l'incendie. Cette technique fait appel à un feu contrôlé, allumé dans des conditions déterminées, en vue d'un objectif précis :

- soit la destruction des rémanents d'une coupe rase, pour pouvoir ensuite replanter ou faire disparaître le danger d'incendie que représentent des volumes importants de rémanents ;
- soit la réouverture d'un pâturage envahi par des refus ou des végétaux ligneux à la suite d'une période d'abandon ou de sous- pâturage ;
- soit la création ou l'entretien d'une coupure de combustible, par destruction des strates arborées ;
- soit la création ou l'entretien des bandes débroussaillées qui équipent les pistes DFCI.

En raison des questions soulevées par le brûlage dirigé, a été créé à l'échelle de la façade méditerranéenne française et sous l'égide d'un organisme de recherche (INRA d'Avignon), un réseau dit de brûlage dirigé, composé de différents organismes (DDAF, ONF, SIME, SDIS) à l'origine d'une charte du brûlage dirigé définissant l'utilisation de cet outil. Sa mise en œuvre est strictement contrôlée et dirigée par une équipe composée de pompiers professionnels titulaires du brevet de brûlage dirigé. Cet outil d'aménagement est amené à se développer dans le cadre de l'entretien des bandes débroussaillées des équipements DFCI, ainsi que sur les coupures de combustibles.

Selon RIGOLOTT (1999), les parcelles traitées périodiquement par le brûlage dirigé ont un pourcentage de sol nu très faible. La différence entre la parcelle incendiée et la parcelle gérée par les brûlages s'explique d'abord par le plus fort recouvrement herbacé de la parcelle « gestion », mais aussi par sa couverture partielle en litière. La fréquence du feu n'augmente donc pas le pourcentage de sol nu, pourvu que les brûlages soient de faible intensité. Cet indicateur reflète le degré d'exposition du sol aux risques d'érosion. Il apparaît que le brûlage dirigé et l'incendie ont des conséquences très différentes sur le pourcentage de sol nu. Le brûlage dirigé, réalisé dans de bonnes conditions réduit l'embroussaillage tout en préservant le tapis herbacé, alors que l'incendie supprime durablement toute repousse d'herbe. les conséquences de l'incendie sont donc, de surcroît, défavorables aux objectifs de gestion pastorale de sites.

Selon MARTIN et SAPSIS (1992) la saison est un paramètre important caractérisant le régime du feu et son impact sur le milieu. Les brûlages dirigés sont réalisés pendant l'hiver alors que la végétation est au repos végétatif (LAMBERT et PARMAN, 1990). La période qui s'écoule entre la consommation de la végétation par le brûlage et la repousse au printemps suivant qui protège de nouveau le sol, n'est que de quelques semaines à quelques mois. En

revanche, les incendies se produisent en général pendant la période estivale et le sol dénudé reste exposé pendant une plus longue période. Le brûlage dirigé périodique combiné aux pâturages, diminuent significativement le risque d'incendie sans exposer le sol aux risques d'érosion, et améliorent ainsi le fond pastoral et la diversité floristique. Dans le domaine réglementaire, l'arrêté préfectoral réglementant l'emploi du feu et déterminant la liste des espaces sensibles a été entièrement remanié en 1996. Son application nécessitera une campagne d'information auprès des particuliers concernés par le débroussaillage légal et auprès des élus.

5-3-Conception de base des débroussailllements : réduction de la masse combustible

5-3-1-Protection rapprochée : écran de largeur de 50 à 100 m

Les études menées sur la propagation des incendies sont unanimes : la continuité du combustible favorise le développement du feu. Pour en limiter au maximum les effets il est donc nécessaire d'établir des coupures aussi bien verticales, entre les différentes strates de végétation, pour éviter qu'un feu parti du sol ne se développe en hauteur, qu'horizontale pour empêcher la propagation des flammes à l'intérieur des massifs.

Les actions sur le combustible consistent à en réduire la quantité et à créer des discontinuités afin de diminuer la puissance du feu et de ralentir sa progression. La réduction du combustible par le débroussaillage est donc un principe de base de la prévention des incendies de forêts. On peut agir sur le comburant en réduisant la vitesse du vent au niveau du sol, en créant ou maintenant une certaine rugosité du paysage au moyen des strates arbustives et arborées. On peut aussi agir sur la source, soit bien évidemment en agissant sur les causes et en réduisant donc la création d'écrans d'arbres ou d'arbustes contre le rayonnement, et les brandons (RIGOLOTT, 1999).

A partir de ces trois types d'actions préventives énumérées ci-dessus, se dessinent les principes de réalisation des aménagements de prévention des incendies de forêts : réduire le combustible forestier au niveau de toutes les strates (litière, herbes, arbustives et arbres), tout en maintenant quelques individus de la strate arborée et éventuellement arbustive pour créer une rugosité au vent et un effet d'écran au rayonnement et aux brandons. Ces deux

prescriptions peuvent sembler contradictoires, mais la solution réside dans le choix pertinent de la densité d'individus à préserver et de leur bonne dispersion, tout en réduisant les probabilités de feu de cime (RIGOLOTT, 1999).

Le débroussaillage est une technique onéreuse (investissement et entretien) utilisée dans des zones stratégiques dont l'objectif est :

- de limiter le risque d'éclosion et de propagation d'un feu (ex : Débroussaillage réglementaire autour des maisons) ;
- de réduire la puissance d'un feu par coupure de combustible qui cloisonne le massif et canalise l'incendie ;
- De lutter contre un feu dans des conditions de réussite acceptable.

Les actions de réduction du combustible préconisées par le présent plan concerneront :

- la création de l'entretien de bandes débroussaillées le long des pistes DFCI sur les tronçons de lutte (cf. normalisation des équipements) ;
- la création et l'entretien d'aires de lutte le long des pistes DFCI;
- la création de coupures vertes installées ou maintenues pour aboutir à un cloisonnement des massifs forestiers et entretenues par des pratiques viables et pérennes (agriculture, cultures à gibier, ...) ;
- la création de l'entretien de lignes de combat, larges bandes débroussaillées sur des lignes stratégiques et équipées pour la lutte contre le feu.

Ce dernier type d'ouvrage a une utilité pour protéger des enjeux particuliers (urbains, biologiques, ...) à condition de bien mesurer l'implication financière nécessaire à leur pérennité et de les implanter selon un scénario « feu de forêt ».

Le débroussaillage le long des routes publiques et autour des maisons est obligatoire. L'arrêté préfectoral qui réglemente l'usage du feu, et fixe les obligations de débroussaillage datent de 1996. Sa rédaction est conforme aux arrêtés des autres départements. La nouvelle loi d'orientation et de modernisation forestière apportera des aménagements dans l'application des règles de débroussaillage autour des habitations qu'il conviendra, le cas échéant, d'intégrer à l'arrêté préfectoral. L'application des règles de débroussaillage est très hétérogène selon les motivations ou les incitations locales. Le contrôle par l'Etat n'est pas ou peu effectué compte tenu de la lourdeur de la tâche au regard

des effectifs disponibles. Les maires ne font pas systématiquement respecter cette obligation et n'assurent pas la publicité nécessaire à cette mesure de sécurité qui pourtant permettrait, dans de nombreuses situations, de mettre en sécurité les biens et les personnes sans aménagement complémentaire.

D'après la DDAF (1999), les dispositions relatives à la réglementation sur le débroussaillage et conformément à l'arrêté préfectoral permanent, le débroussaillage de 50 mètres autour des habitations (pouvant être porté à 100 mètres par décision du maire) est obligatoire pour les propriétaires des habitations se trouvant hors des zones urbaines du P.O.S. ou en limite de celles-ci. Elles présentent l'inconvénient d'être difficiles à gérer (dépendantes de la bonne volonté des personnes, de l'efficacité du travail accompli, etc.). Outre les constructions, les voies de circulations en forêt sont souvent le point de départ de sinistres (étincelles, jet de mégots...). En conséquence, dans les massifs classés et les départements méditerranéens, les autorités et la SNCF ont la possibilité de procéder à des débroussaillages sur une bande de 20 mètres de part et d'autre des voies ouvertes à la circulation publique (quel que soit le propriétaire des terrains concernés). Partout un arrêté préfectoral peut imposer des règles de gestion forestière particulières (sans autre précision) sur une bande de 50 mètres de part et d'autres des emprises routières.

Mais le seul maintien débroussaillé, pour peu qu'il soit réellement appliqué, ne saurait à lui seul garantir de manière passive, l'extinction des incendies.

Dans de très nombreuses situations, la simple application de cette mesure permettrait de réduire sensiblement les risques pour la forêt et pour la sécurité des personnes et des biens.

Les coupures de combustibles peuvent, dans le cas particulier, prendre plusieurs formes :

- la coupure de combustible de type coupure verte s'il existe sur les lieux de bonnes potentialités agricoles (vignobles, plantations d'oliviers, ...)
- l'aménagement sylvo-pastoral (ovins/bovins) nécessitant la présence d'un ou plusieurs éleveurs ;
- le pare feu simple ou ligne de combat, solution de dernier recours car difficile à pérenniser (entretien contraignant) et ne présentant pas l'avantage d'être un support d'activité ;

- le traitement sylvicole raisonné qui allie la sylviculture (éclaircie résineuse) et la réduction de la biomasse combustible (cas du peuplement de pins maritimes par exemple) présente l'avantage de mettre en valeur le site et d'être bien perçu socialement, mais reste onéreux ;
- aménagements urbains (espaces verts, zones de jeux...).

Pour des raisons économiques, techniques et écologiques, il est tout à fait impensable de débroussailler l'ensemble des massifs forestiers français. Seuls les espaces les plus sensibles peuvent et doivent connaître un traitement. Cependant un simple arrêté préfectoral peut partout prescrire le nettoyage des coupes après exploitation forestière. Les préfets peuvent également sur l'ensemble du territoire imposer le débroussaillage et l'entretien de l'état (code forestier, article 1-322-3 modifié par la loi du 6 juillet 1992) ; la loi forestière de 1992 définit le débroussaillage comme : «La destruction par tous moyens des broussailles et morts bois et, si leur maintien en l'état est de nature à favoriser la propagation des incendies la suppression des végétaux et sujets d'essences forestières ou autres lorsqu'ils présentent un caractère dominé, dépérissement ou une densité excessive de peuplement, ainsi que l'élagage des sujets conservés ».

Dans les faits le débroussaillage autour des constructions en forêt s'applique systématiquement dans les massifs classés et dans les départements méditerranéens. En outre le rayon de la zone à débroussailler peut y être porté à 100 mètres sur décision municipale ou préfectorale et en cas de défaillance des propriétaires. Ces mêmes autorités peuvent procéder à des travaux d'office (la charge des travaux reste bien évidemment aux propriétaires qui se voient ainsi présenter la facture). Nous verrons que ces dispositions peuvent dans certain cas particulier s'appliquer à l'ensemble des terrains et non plus à un périmètre limité autour des constructions.

5-3-2-Entretien régulier de la végétation forestière au-delà de l'écran débroussaillé

Le débroussaillage est une mesure importante pour la lutte contre les feux mais les superficies traitées avec cette méthode sont forcément réduites et il n'est pas envisageable d'étendre leur application en plein dans les massifs forestiers. L'impact du débroussaillage, quel que soit le type d'ouvrage créé, s'analyse en terme de surface forestière protégée ou

d'enjeux protégés. Aussi la sylviculture des peuplements forestiers, résineux et feuillus, doit intégrer la prévention vis-à-vis du risque d'incendie : élagage pour créer des discontinuités verticales, mise à distance des houppiers, broyage des rémanents de coupes, essences à couvert sombre, dégagement des plantations, protection rapprochée des reboisements...La gestion du peuplement doit tendre en définitive vers leur « autoprotection » notamment pour faire face à des feux rapides de broussaille. La valorisation de la forêt est une solution préventive durable qui constitue un enjeu important pour le département. Les actions de développement forestier, les investissements en forêt participent de cet objectif mais ne seront pas recensés dans le cadre du plan de prévention.

6-Comment éviter les mises à feu : action à la source

Ces mesures comportent deux volets : limitation de l'usage du feu dans et à proximité des massifs forestiers et réduction des causes accidentelles d'incendie. Le premier type de réglementation peut s'appliquer sur tout le territoire national tant aux propriétaires et à leurs ayants droit qu'au grand public. Compte tenu du caractère très restrictif de ces mesures, elles ne peuvent, notamment en ce qui concerne les propriétaires, être appliquées de façon permanente. La loi de 1996 indique en effet que l'interdiction de l'usage du feu ne peut s'appliquer plus de sept mois dans l'année (en général de mars à septembre) : il s'agit de limiter les risques sans pour autant rendre impossible toute l'exploitation forestière et agricole. Le plus souvent, en dehors des périodes de risque très sévère, les travaux exigeant l'emploi du feu sont soumis à déclaration ou à autorisation préalable.

La législation tient également compte de la fréquentation récréative des espaces boisés et des risques qui peuvent en résulter : le simple fait de fumer ou de transporter des objets susceptibles d'allumer un feu (allumettes au premier chef) peut être réprimé sur décision préfectorale pendant les périodes à risque. Toujours pour éviter les mises à feu et pour garantir la sécurité des personnes, les massifs forestiers peuvent être interdits à la circulation aussi bien pour les piétons que pour les véhicules (cette mesure concerne le passage sur des terrains boisés en dehors des routes ouvertes à la circulation publique. Elle ne s'applique pas aux propriétaires et à leurs ayants droit) ; dans les cas extrêmes, notamment lorsqu'un incendie est déclaré, la circulation et même le stationnement sur les voies habituellement ouvertes au public peuvent également être interdites à toute personne.

Cette gamme de mesures peut être appliquée en tout point du territoire sur simple décision préfectorale. Des règlements plus contraignants peuvent concerner des zones restreintes. C'est le cas tout d'abord pour l'ensemble des forêts soumises au régime forestier : toute une série d'activités (figure 21) exigeant l'utilisation du feu ou susceptibles d'engendrer un stockage de bois sont soumises à l'autorisation préfectorale lorsqu'elles sont situées dans un rayon allant de 500 mètres à deux kilomètres des massifs forestiers.

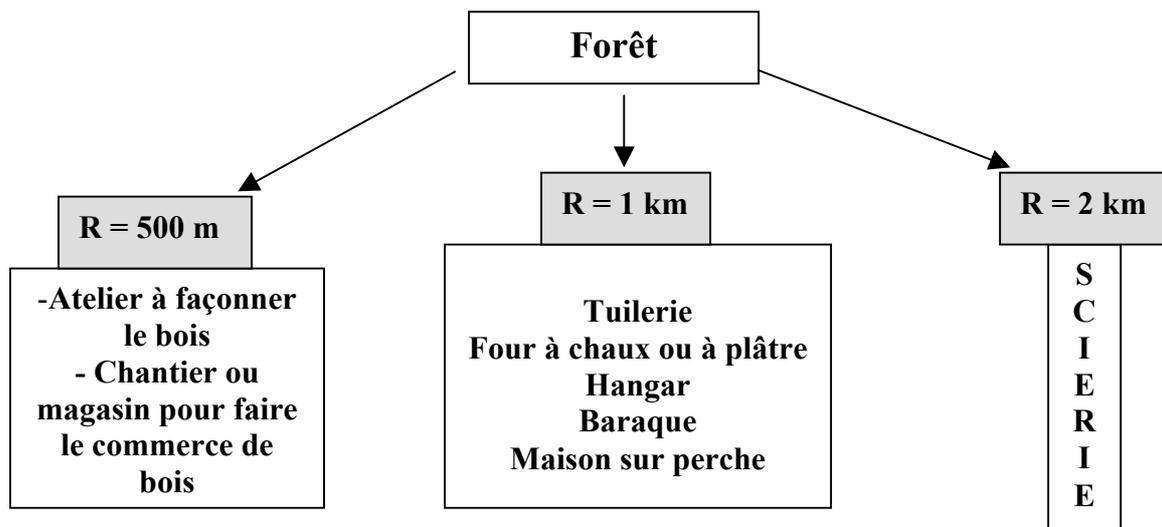


Fig. 24 : liste des constructions ou activités soumises à autorisation préfectorale dans, ou à proximité des forêts soumises.

Dans les massifs classés sensibles au risque d'incendie (les zones particulièrement exposées en raison d'éléments naturels favorables à la propagation des incendies) (code forestier article L 321-1) et dans les régions méditerranéennes (Corse, Provence Alpes Côtes d'Azur, Languedoc –Roussillon et départements limitrophes), les voies de défense contre l'incendie (pistes) ont le statut de voies spécialisées non ouvertes à la circulation générale (code forestier art L 321-5-1) ; seules les services bénéficiaires (pompiers, forestiers) et les propriétaires – sous réserve de ne pas entraver l'action des premiers - ont le droit d'y circuler. Sur le terrain ce règlement est d'ailleurs bien souvent indiqué au public par des panneaux de signalisation, voire même appliqué d'office à l'aide de barrières cadenassées.

Si les mesures qui viennent d'être évoquées sont principalement le fait de l'administration préfectorale, les maires des communes concernées, en tant que responsables de la sécurité publique, doivent s'assurer du respect des règlements. Il leur appartient également de surveiller les activités susceptibles de présenter un danger pour la forêt, tout particulièrement les décharges publiques ou privées. Malheureusement ces mesures

préventives suffisent rarement. Tout est alors fait sur le terrain pour limiter les dégâts potentiels des incendies.

7-Information préventive (du public): les mesures spécifiques de prévention des risques

L'information du public, une stratégie locale, complémentaire des grandes campagnes menées à l'échelon national ou zonal devrait être développée. L'objectif fixé est d'atteindre un public spécialisé concerné par les causes des incendies identifiés et notamment :

- élus (débroussaillage, dépôts d'ordure) en tant que responsables pour l'application de la réglementation ;
- agriculteurs et forestiers avec les risques engendrés par les travaux agricoles et les écobuages ;
- administrations et élus au titre de la politique d'urbanisme.

Il s'agira de concevoir des documents ou des modes d'information adaptés à la résorption d'une cause d'incendie identifiée.

Selon BLANCHI (2001), une des orientations majeures de la politique actuelle avec le PPR concerne la sensibilisation et l'information des populations sur les risques auxquelles elles sont exposées.

L'information préventive telle que définie par l'article 21 de la loi du juillet 1987, le décret du 11 octobre 1990 et la circulaire du 21 avril 1994 a précisé le contenu et la forme des informations auxquelles doivent avoir accès les personnes susceptibles d'être exposées à des risques majeurs ainsi que les modalités selon lesquelles ces informations seront portées à leur connaissance. L'article 3 du décret précise que « les informations données aux citoyens sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis comprend la description des risques et de leurs conséquences prévisibles pour les personnes, les biens et l'environnement, ainsi que l'exposé des mesures de sauvegarde prévues pour limiter leurs effets ». Grâce aux informations et aux consignes de sauvegarde, le citoyen pourra mieux se protéger de celui-ci. Pour mettre en place cette procédure, une cellule d'Analyse des Risques et d'Information Préventive (CARIP), a été constituée dans chaque département. Cette cellule doit établir : la liste des communes à risque, les cartes d'aléas et d'enjeux, le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM)

comprenant les informations sur les risques majeurs naturels et technologiques du département et enfin les Dossiers Communaux Synthétiques (DCS).

Le DCS est notifié au maire par arrêté préfectoral. Le maire est consulté pour avis et devra par la suite réaliser un Dossier d'Information Communal des Risques Majeurs (DICRIM), puis assurer la diffusion, sur sa commune, de cette information par affichage et tout autre moyen qu'il jugera opportun. L'information préventive est effectuée en priorité sur les communes où les enjeux humains sont les plus importants, où les protections sont les plus fragiles (exemple : camping). Par circulaire du 25 février 1993, le Ministère de l'environnement a demandé aux préfets d'établir la liste des communes à risques, en leur enjoignant de définir un ordre d'urgence pour que tous les citoyens concernés soient informés dans un délai de cinq ans.

Actuellement cette procédure n'est pas encore mise en œuvre sur toutes les communes concernées par un risque naturel, alors que la politique de mise en œuvre des PPR est nettement plus avancée car elle a bénéficié de moyens plus importants.

8-Répartition des centres de secours : d'une logique forestière à une logique urbaine

Dans les Alpes-Maritimes, l'analyse des archives montre que les premières équipes de sauveteurs bénévoles et les premiers dépôts d'outils destinés à la lutte contre les feux de forêts ont été créés à l'initiative du capitaine POULLAN à partir de la fin des années vingt. Dès cette époque il tente de mettre en place un embryon d'organisation départementale (tableau n°14). Ses efforts se portent surtout sur ce qu'il appelle la zone sensible, où il s'efforce de créer un système de lutte coordonné autour de quelques centres de secours importants. Au total cinquante quatre communes sont concernées parmi lesquelles Antibes, Cannes, Grasse, Menton et Nice doivent jouer un rôle de pivot. Pour des raisons inexplicables plusieurs communes situées entre Nice et Menton sont exclues de ce dispositif et surtout nombreuses sont celles pressenties qui refusent de s'y intégrer, à commencer par Menton qui devait pourtant commander un secteur. Du coup l'organisation privée de vingt-cinq communes et, réduite de cinq à quatre secteurs, prend l'allure d'un véritable gruyère et son efficacité semble avoir été dès le départ largement compromise.

Pourtant, dans le même temps et avec l'appui des autorités départementales, le capitaine POULLAN mène une politique d'incitation pour convaincre les maires des communes de l'arrière pays, trop éloignées pour permettre l'intervention des pompiers, de créer leurs propres structures de lutte. Dès 1927 ses efforts se traduisent par la création de dépôts d'outils dans onze communes du département. Seules deux d'entre elles comportent des forêts classées l'année précédente comme appartenant à des zones dangereuses délimitées en 1928. Les autres sont donc des communes de l'arrière pays et même pour certaines, comme Saint Etienne de Tinée ou Isola, des communes de haute montagne.

La constitution de ces équipes se poursuit pendant les années trente et en 1939 seules treize communes déclarent ouvertement leurs refus de se doter de sauveteurs volontaires. Ces communes ne sont pas homogènes dans leur répartition mais il est à noter que cinq appartiennent pourtant à la zone dangereuse, dont Menton qui était pressentie en 1928 par le capitaine POULLAN pour diriger un secteur de secours. Le refus de certaines communes vulnérables d'organiser leur défense est difficile à expliquer. Sans doute les raisons se trouvent-elles à la fois dans l'absence de réelle obligation des communes à s'impliquer, dans des conflits politiques locaux et dans des considérations financières puisque le département ne subventionne qu'une partie des frais engendrés par la création des coûts de sauveteurs.

La réorganisation des services d'incendie et de secours a abouti à la division du département en 27 secteurs de protection contre l'incendie, confiés chacun à la garde d'un centre de secours : sept centres principaux et 20 centres secondaires ruraux dont le personnel réduit est essentiellement constitué de volontaires. Les centres de secours principaux, avec des pompiers professionnels, sont tous implantés en milieu urbain dans la bande littorale au sud du département. De nombreuses équipes de sapeurs pompiers forestiers s'effacent dans l'arrière pays pour laisser la place aux centres secondaires moins nombreux mais semble t-il plus régulièrement répartis sur le territoire. Il n'en demeure pas moins que le gros des secours est concentré dans les zones urbaines et qu'apparaît une très sensible dissymétrie entre le sud du département très urbanisé et touristique et le centre et le nord, montagneux et plus forestiers où la densité d'équipement s'avère beaucoup plus faible.

Cette mutation, commune à l'ensemble des départements, marque donc un renversement du rôle respectif des forestiers et des pompiers dans le domaine de la lutte contre les incendies. Ces derniers assument l'entière direction des opérations, d'où la fin de la prise en compte directe du risque d'incendie dans la localisation des secours ainsi que la fin

de la spécialisation de ces secours au domaine forestier. Les nouvelles structures, certes plus professionnelles sont à présent composées de généralistes de la sécurité civile ayant pour mission la protection des personnes faisant passer les questions forestières au second plan : leur principal critère d'implantation est donc devenu la localisation des concentrations humaines. L'étude du dispositif actuel ne démentira pas ce constat.

Tableau 15 : Cinquante ans d'événements et de réglementations DFCI dans le département des Alpes-Maritimes

	Année	Evénements et règlements DFCI
Bulletin de renseignements	1923	Feux catastrophiques dans le midi méditerranéen
	1924	Loi du 26 mars sur l'aménagement et la protection des forêts contre l'incendie <ul style="list-style-type: none"> - première réunion de la commission spéciale chargée de donner son avis sur les incendies de forêts - Arrêté préfectoral délimitant la zone dangereuse
	1926	Délimitation de la zone classée
	1927	Premiers dépôts d'outils
	1929	<ul style="list-style-type: none"> - création du service spécial des incendies de forêts au sein des Eaux et forêts - Projet d'organisation des secours dans la zone dangereuse
	1931	52 communes dotées d'équipes de secours
	1939	13 communes refusent de se doter d'équipes de secours
	1941	Arrêté préfectoral élargissant la zone dangereuse
	1942	Rapport des Eaux et Forêts sur la situation en montagne
	1943	Arrêté préfectoral élargissant la zone dangereuse
	Registres statistiques	1946
1949		Dissolution du service spécial
1951		Création de la protection civile
1953		Création des statuts communaux
1955		Création des services départementaux d'incendie et de secours
1964		Arrêté préfectoral élargissant la zone dangereuse
1969		Arrêté préfectoral créant 3 zones distinctes

Source : C. BOUSSET, 1998

8-1-Mesures de protection des forêts : de l'administration aux propriétaires

Les risques d'incendies ont poussé très précocement les autorités compétentes à prendre des mesures de protection des massifs forestiers : déjà l'Ancien Régime prévoyait de punir les incendiaires. De même la fameuse lettre de Napoléon au préfet du Var exigeait la mise à mort de toute personne ayant involontairement déclenché un incendie. Au début du vingtième siècle, s'il n'est plus question de peine de mort, de lourdes amendes sont prévues et l'article 148 du Code Forestier interdit de porter du feu à l'intérieur et à proximité des forêts. La réglementation de l'usage du feu demeure en fait tout au long du siècle la principale mesure législative de protection des forêts. En ce sens rien de nouveau n'a donc été inventé. Seule va évoluer la sévérité de cette législation. L'évolution se fait d'abord dans le sens d'un élargissement de son champ d'application : l'interdiction de porter du feu à l'intérieur et à proximité des forêts inscrit dans le code Forestier ne pouvait être opposée aux propriétaires et à leurs ayants droit. Or ce sont souvent les travaux de ces derniers qui sont responsables des départs de feux.. Du coup, dès 1920 un arrêté préfectoral des Pyrénées- Orientales impose la demande d'une autorisation préalable pour les propriétaires souhaitant « incinérer des végétaux sur le pied, écobuer, brûler des herbages, chaumes, bruyères et autres broussailles dans un rayon de deux kilomètres des bois et forêts », (arrêté préfectoral du 14 juin 1920 : réglementation des mises à feu à proximité des massifs boisés, Archives départementales Pyrénées- orientales, cote 3Z119), pendant la période du 15 juin au 31 octobre. Mais dès 1924 et l'adoption de la loi du 26 mars, la demande d'autorisation se transforme en interdiction pure et simple. Cette interdiction ne peut évidemment être permanente : elle se limite donc à un maximum de cinq mois dans l'année. Les modalités d'application sont laissées à la libre appréciation des préfets.

La législation comporte également une mesure censée enlever tout intérêt aux mises à feu volontaires : les bergers désireux de se procurer des pâturages à peu de frais sont en effet responsables d'un certain nombre d'incendies. C'est pourquoi l'article 8 de la loi des 1924 permet d'interdire le pâturage sur les zones brûlées pendant une période maximale de 10 ans après l'incendie.

Cette loi de 1924 n'est évidemment pas le seul texte législatif sur les incendies de forêts. Mais en effet, peu de mesures réellement nouvelles sont prises par la suite, à l'exception de l'obligation de procéder à un débroussaillage autour des constructions. Cependant, les arrêtés pris tout au long du siècle dans les deux départements étudiés montrent

une nette tendance au renforcement de la sévérité de la législation, avec par exemple l'extension dans le temps des mesures restrictives : ainsi dans les Alpes-Maritimes, l'interdiction de porter du feu en forêts qui n'excède pas quatre mois et demi en 1924 est portée à sept mois en 1969 puisqu'elle s'applique cette année-là du 15 mars au 15 octobre.

La figure suivante montre à quel point la période de restriction de l'usage du feu en forêt a évolué entre les années vingt et les années soixante.

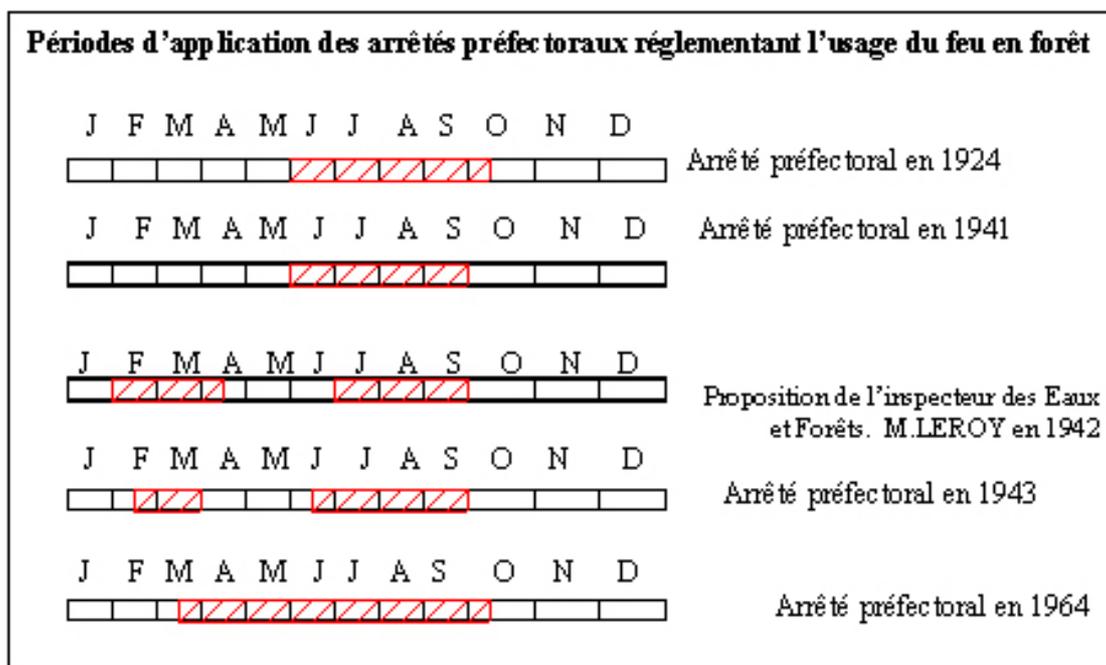


Fig. 25 : Périodes pendant lesquelles la forêt est protégée dans les Alpes-Maritimes (1924-1964)

Source : Archive départementale Alpes-Maritimes in BOUSSET, 1998

La plupart de ces mesures sont encore aujourd'hui en vigueur et rien de véritablement nouveau n'a révolutionné la législation en matière de protection des forêts. La sévérité s'est accrue du moins sur le papier, car, et c'est la constante de la réglementation anti-incendie depuis le début du siècle ; les pouvoirs publics ont bien du mal à appliquer et à faire respecter ces mesures.

Les principes d'aménagements et de protection des forêts contre l'incendie ont connu de notables modifications (moins d'ordres techniques). Elles ont changé tout au long du siècle mais les fondements de ces aménagements sont finalement restés assez identiques. Depuis le début du siècle, les travaux de protection des forêts se résument à un objectif essentiel : créer des coupures dans le combustible tant sur le plan horizontal, à l'aide de pare-feu ou de

tranchées para feux » selon le vocabulaire de l'époque, que sur le plan vertical grâce à un débroussaillage permettant de détruire ou de limiter les strates herbacées et arbustives. En fait, ce sont surtout les moyens disponibles et la maîtrise d'œuvre qui ont considérablement été modifiés.

Au début du siècle les travaux d'aménagement et la surveillance des forêts sont à la charge des propriétaires des espaces en question. L'administration des Eaux et Forêts à qui incombe la gestion des forêts domaniales et soumises, tout en fustigeant la mauvaise gestion des propriétaires individuels, refuse de prendre en charge les travaux et les frais de protection des forêts privées.

Parmi les mesures préventives envisagées dans les Alpes-Maritimes figure un projet d'aménagement établi en 1929 par le service forestier consistant à créer un système de tranchées para feux dans les massifs classés. Ces travaux financés en partie par le département incombent aux associations syndicales de propriétaires forestiers, de telle sorte qu'ils ne sont réalisables que si les propriétaires se sont effectivement constitués en syndicats.

Dans les années cinquante, le conservateur adjoint des Eaux et Forêts à Nice émet une série de propositions pour l'élaboration d'un nouveau programme de travaux de défense contre les incendies de forêts (Archive départementale Alpes-Maritimes, cote 180W95). Il rappelle en préambule que les mesures préventives et les travaux d'aménagements relèvent de la compétence du service forestier. Il souligne que dès 1925, des efforts avaient été faits avec la création de quelques associations syndicales, mais que faute de motivation et de soutien des pouvoirs publics le bilan n'était guère positif. Le conservateur considère donc que le département doit se substituer aux propriétaires pour réaliser un programme de défense et ce d'autant plus qu'il est à même de recevoir une aide financière du Fonds Forestier National.

Ce rapport marque donc l'échec des politiques antérieures et témoigne du revirement de l'administration : devant la défaillance des propriétaires, d'autant moins motivés que le coût des travaux est exorbitant et que les espaces à protéger sont là : Pourquoi les propriétaires, qui ne sont pas forcément responsables des incendies, devraient-ils assumer seuls leurs coûts ? A ce moment la protection des forêts contre l'incendie devient une véritable question publique.

Ce n'est pas pour autant que les problèmes soient résolus : en 1950 la commission Spéciale des Alpes-Maritimes adopte un programme de travaux prévoyant l'ouverture de pistes et le débroussaillage des routes en bordure des massifs forestiers. Le 26 décembre 1952 le département se voit accorder par le fonds forestier National un prêt de 51 000 000F remboursable sur 30 ans. Mais le projet bute sur les coûts de l'opération et notamment sur le refus ou simplement l'impossibilité de certaines communes et des propriétaires privés d'assumer le poids financier de l'entretien des débroussailllements prévus. Les propriétaires sont donc en partie sollicités, preuve de la difficulté pour les pouvoirs publics d'assumer la totalité de l'effort tant financièrement que moralement. La question de l'entretien des travaux n'est d'ailleurs pas résolue aujourd'hui : les financements sont pris en charge par la collectivité mais l'entretien des ouvrages n'est jamais pris en compte et ne fait jamais l'objet de subventions.

En septembre 1956, les travaux d'aménagement prévus dans les Alpes-Maritimes n'ont toujours pas débuté. Devant l'impossibilité de procéder à un débroussaillage de la totalité des massifs forestiers, le conservateur suggère le débroussaillage sur une largeur de cinq mètres le long des voies de communication. Il préconise également la prise de mesures coercitives pour obliger les propriétaires et les communes à en assurer l'entretien en vertu des pouvoirs du préfet en matière de protection des biens et des personnes. Ces mesures inévitablement impopulaires sont difficilement applicables.

Il n'en reste pas moins que les services de l'Etat et les autorités départementales sont à présent en charge de tous les aspects de la protection contre l'incendie (aménagement, surveillance et lutte) de l'ensemble des espaces méditerranéens publics et privés. Cette intervention, rendue nécessaire par la défaillance des personnes privées, par l'abandon des modes traditionnels d'exploitation de la forêt méditerranéenne et par la gravité croissante des incendies qui en découlent, n'a cessé de se renforcer depuis cette date (BOUSSET, 1998).

8-2-Réseaux de surveillances des massifs forestiers

L'objectif du dispositif est de dissuader les auteurs des mises à feu, d'alerter très rapidement les secours et d'intervenir dans les plus brefs délais sur des feux naissants. Le dispositif repose sur les services forestiers et sur les sapeurs – pompiers avec utilisation des tours de guet, patrouilles de guet et moyens aériens.

9-Equipements des massifs forestiers DFCI : construire et gérer les différents équipements pour la lutte

Un massif DFCI est une unité relativement homogène sur le plan écologique, climatologique, géologique et sociologique et pour lequel le risque feu de forêt est sensiblement équivalent, permettant d'élaborer une doctrine de prévention et de gestion préventive. De manière générale, chaque massif possède un plan de prévention qui définit les principaux enjeux et les moyens de leur protection, et un syndicat intercommunal qui gère les équipements de prévention. Les plans de prévention, par massif, quantifient le niveau actuel des équipements en précisant leur état et évaluent les besoins pour atteindre un seuil théorique optimal d'équipement.

Il est difficile de définir une densité optimale moyenne du réseau de pistes et points d'eau (DDAF, 1999). En effet, cette densité doit être adaptée :

- à la nature du massif (topographique, végétation,);
- au niveau du risque ;
- à la valeur des dommages potentiels ;
- au coût de la construction et de l'entretien des équipements.

9-1-Pistes DFCI

D'après la DDAF (1999) le réseau routier utile à la surveillance et à la lutte est constitué :

- des voies du réseau public ;
- des pistes DFCI balisées et cartographiées ;
- des pistes annexes

Les deux premières catégories constituent le réseau DFCI dont l'objectif principal est l'accès rapide des secours le plus près possible d'un départ du feu. Une densité moyenne comprise entre 1 km / 100 hectares à 3 km / 100 hectares en fonction des critères en vigueur (Fiches CEMAGREF du guide technique du forestier méditerranéen).L'application des mesures prévues dans le précédent plan départemental, permet de disposer d'une densité de voies d'accès satisfaisantes. C'est un progrès notable, en grande partie à l'origine des résultats

de la stratégie d'intervention rapide sur feux naissants. Aujourd'hui l'inventaire exhaustif du réseau des pistes est en cours et permet d'engager une réflexion sur la politique d'équipement des massifs. Les caractéristiques des voies DFCI sont très inégales allant de la piste de six mètres de large au mauvais chemin de trois mètres en cul de sac.



Photo 10 : Exemple d'une piste en cul de sac dans le massif du Lucéram, entamée par les pompiers lors de l'incendie du 15 juillet 2003.

N. HESSAS, 2003

Le débroussaillage de sécurité (préconisé sur une largeur de dix à vingt mètres) n'est pas toujours mis en œuvre. Le statut juridique de ces pistes, ouvertes avec le simple accord de passage des propriétaires est précaire (possibilité à un riverain de fermer l'accès sur sa parcelle) en l'absence de servitude de passage. Enfin, le financement de l'entretien n'est pas systématiquement assuré par les collectivités qui n'accordent pas toujours la priorité à ces travaux, notamment lorsque la fréquence et l'importance des feux diminuent sur leurs massifs.

Ce constat permet d'orienter les priorités départementales selon les axes suivants :

- poursuivre l'inventaire de terrain (GPS) et constituer une base de données (BD DFCI 30) ;
- sélectionner des réseaux structurants dans les massifs forestiers (pistes principales pour l'accès et la lutte, pistes secondaires pour la surveillance essentiellement);
- normaliser les réseaux ainsi sélectionnés qui bénéficieront d'une priorité pour les investissements de l'Etat;
- créer des pistes uniquement dans des massifs sous équipés.

9-2-L'eau au cœur d'une stratégie globale de la DFCI

Malgré les progrès importants réalisés depuis une dizaine d'années en matière de prévention et de lutte contre les incendies, la forêt reste très sensible au feu. L'eau constitue évidemment un élément indispensable dans les systèmes de prévention et de lutte, au service d'une nécessaire stratégie globale. L'intégration de la composante hydraulique dépendra :

- du type de zone à protéger (forestière, interface forêt-habitat, bâtiments et infrastructures nécessitant une protection individuelle),
- de la destination du dispositif (équipements « passifs » axés sur la mise à disposition de l'eau, ou équipements « actifs » utilisés de manière quasi autonome pour la prévention comme pour la lutte).

9-2-1-Points d'eau : une large panoplie d'équipements traditionnels

Les équipements hydrauliques traditionnels en DFCI se répartissent ainsi : équipements de stockage, équipements de transport et alimentation sous pression. Parmi les ouvrages de stockage, on trouve les retenues collinaires, les bassins artificiels et les citernes (métalliques ou en béton). Si elle peut être utilisée aussi pour l'irrigation et la cynégétique, la réserve alimentée par un réseau spécifique avec station de pompage peut être un choix intéressant. Pour la DFCI, cela permet de l'implanter stratégiquement en hauteur. Ces équipements sont indispensables pour la lutte et lors du traitement des reprises d'incendies. L'installation de points d'eau sur les pistes pour limiter les rotations de véhicules porteurs d'eau est un objectif prioritaire. La nature des points d'eau sera adaptée aux conditions locales avec un impératif, celui de la fiabilité, c'est-à-dire la présence permanente de l'eau dans des réservoirs régulièrement répartis. Pour cela, le choix des citernes métalliques de capacité 30 m³ donne satisfaction sans considérer cette solution comme unique. En effet, les bornes d'incendie seront privilégiées en milieu périurbain, les retenues en zone agricole... A ce jour, les points d'eau sont en cours d'inventaire et intégrés dans la base de données DFCI. L'augmentation des capacités en eau sur le terrain demeure prioritaire ainsi que la gestion de ces équipements (vérification de l'état et de présence d'eau avant la campagne d'incendie). L'installation des points d'eau doit répondre « schématiquement aux critères suivants » :

- être facilement accessibles et convenablement signalés;
- être si possible utilisables par les hélicoptères bombardiers d'eau;

- être régulièrement répartis sur le territoire.

L'objectif moyen retenu est l'implantation de citernes de 30 m³ tous les 2km à des carrefours stratégiques ou encore près de 30 m³ par 400 hectares. L'intégration paysagère (citerne notamment) et éventuellement la valorisation agricole (autres réservoirs) des points d'eau sera privilégiée.



Photos 11 : Différents types de points d'eau mis en place dans le bassin versant du Paillon (photos 1 et 2 : citerne en bois ; photo 3 : citerne en ciment et photos 4 et 5 : bassin)

N. HESSAS, 2003

Les citernes en béton alimentées par un impluvium gagnent à être complétées par une canalisation de mise en pression conduisant à un poteau d'incendie. Cela permet de gagner du temps lors des interventions.

Pour la mise en pression, on trouve outre les stations de pompage, plusieurs types de pompes, qui présentent l'avantage d'être mobiles, permettant ainsi aux équipes de lutte d'utiliser des points d'eau non accessibles aux véhicules. Les poteaux et les bornes d'incendies sont les modes de ravitaillements les plus utilisés en raison de leurs avantages (eau sous pression, accès, implantation proche des routes et pistes DFCI). Les Robinets d'Incendie Armée (RIA) forestiers sont des lances d'incendies reliées à des tuyaux contenus dans des caissons encastrés dans la terre et verrouillés. Les caissons sont alimentés par un réseau hydraulique. Les RIA présentent l'avantage de permettre une intervention rapide sur un feu naissant, y compris de la part de toute personne compétente disposant d'une clé. Les RIA sont destinés à la lutte contre un départ de feu. Parmi les points d'eau sous pression, il y a aussi les bornes agricoles. Il faut noter toutefois que l'utilisation de ces bornes est problématique pour les pompiers, leurs sorties ne correspondent pas à leur matériel; signalons aussi de fréquentes insuffisances des débits (BELVAUX, 2002)

9-2-2-Système spécifique de brumisation

Depuis quelques années existent des matériels hydrauliques spécifiques, issus de l'adaptation de matériels d'irrigation. Ils peuvent être utilisés pour la prévention et pour la lutte. Il s'agit d'appareils de brumisation et d'appareils d'aspersion. Le système de brumisation consiste à projeter un brouillard d'eau à partir de buses spécifiques diffusant l'eau sous forme de microgouttelettes (100 à 10 000 fois plus de surface couverte qu'une lance d'incendie classique pour le même cubage d'eau).

9-2-3- Système spécifique d'aspersion

BELVAUX (2002) signale l'existence des asperseurs adaptés pour arroser abondamment la zone qu'ils couvrent afin de bien mouiller toute la végétation. Ils peuvent débiter jusqu'à 80 m³/h et couvrir jusqu'à une surface de 4 500 m². Ils peuvent être à mât fixe, semi-télescopique, selon la configuration du site. Il existe aussi des extincteurs télescopiques

comportant un réservoir de 5 à 10 m³ d'eau et des détecteurs thermiques. Le système « Forestal » permet d'obtenir des débits de 300 m³ pour une surface couverte de 4 500 m² à 11 800 m². Le temps de fonctionnement après le déclenchement ne dépasse pas 2 minutes.

Il existe aussi des matériels de lutte destinés à l'extinction par explosion. En raison de leur dangerosité, l'ensemble des sapeurs pompiers de la région est opposé à l'utilisation de ces systèmes. Tout cela représente donc une grande variété d'équipements et matériels hydrauliques, diversement adaptés aux différents objectifs de prévention et de lutte.

10-Mise en place des Plans de Prévention des risques d'incendie de forêt PPR: un outil spécifique de prévention

Le PPR est le nouvel outil de prise en compte des risques dans l'aménagement du territoire. Il constitue aujourd'hui l'instrument essentiel de l'action de l'état en matière de prévention des risques naturels. Il s'est substitué à plusieurs instruments antérieurs qui n'avaient pas atteint les objectifs de prévention escomptés (Plans de Surfaces Submersibles, Plans d'Exposition aux risques, articles R111.3 du code de l'urbanisme, Plans de Zones Sensibles aux Incendies de Forêt). Les PPR s'appliquent à tous les phénomènes naturels. Ils ont été conçus pour répondre aux besoins de clarification, de simplification et de souplesse des dispositifs de prévention par l'urbanisme. Ces plans ont pour objectifs de délimiter les zones à risque et les mesures applicables en fonction de la dangerosité des zones. Il s'agit de définir les règles de gestion, d'urbanisme et de construction qui s'appliqueront au bâti existant et futur et d'y prescrire des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à prendre par les particuliers et les collectivités territoriales. Les P.P.R. reposent sur la cartographie des risques, traduite ensuite en cartographie réglementaire (zonage réglementaire).

Il existe, au niveau ministériel, une volonté très forte de mise en place de ce type de plan. On constate un développement important des réflexions menées dans ce sens par le MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), associé aux autres ministères concernés (le Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, le Ministère de l'Agriculture de la pêche et le Ministère de l'intérieur), afin d'accélérer la mise en place des PPR.

D'après le MATE, il existe aujourd'hui près de 2 500 PPR et environ autant sont en cours d'élaboration. La direction de la prévention des populations et des risques (DPPR) estime à 5000 le nombre de communes qui devraient être couvertes par un tel plan d'ici 2005 (www.Prim.net).

Cependant, l'application concrète de ces plans n'est pas encore généralisée pour tous les risques et pour tout le territoire français. Ainsi, dans certains domaines, tels les inondations et les mouvements de terrains, la logique PPR se met en œuvre. En revanche, on constate un retard dans d'autres domaines comme celui des incendies de forêt. Un seul PPR pilote était en cours d'élaboration sur la commune d'Auribeau sur Siagne dans le département des Alpes-Maritimes. Il a été le premier à avoir été approuvé en juin 2000, après huit années nécessaires à son élaboration (BLANCHI, 2001). On constate l'apparition de difficultés qu'il convient d'identifier pour mettre en place un PPR dans le domaine des incendies de forêt.

10-1-Prescrire un PPR : Pourquoi et sur quels territoires ?

La politique générale de prévention des risques naturels en France vise à mieux connaître les phénomènes et leurs incidences, à assurer une surveillance, à sensibiliser et informer les populations, à prendre en compte les risques dans les décisions d'aménagement, à adapter et protéger les installations actuelles et futures et enfin tirer les leçons des événements naturels qui se produisent.

Le PPR incendie de forêt a pour objet d'analyser ce risque sur un territoire donné et d'en déduire une délimitation des zones exposées pour privilégier le développement des zones de risques exemptes de risques ou introduire des prescriptions en matière d'urbanisme, de construction et de gestion dans les zones à risques. Le PPR est composé d'un rapport de présentation qui analyse le risque et son impact sur les personnes et les biens, d'une carte réglementaire (échelle 1/10 000 à 1/5 000) qui précise les zones réglementées par le document et d'un règlement s'appliquant à chaque zone.

La notion de risque d'incendie de forêt recouvre des aspects très différents comme la probabilité de connaître un départ de feu, la probabilité de brûler, la menace potentielle représentée par un départ de feu, les dégâts potentiels... Deux notions sont à prendre en compte dans une analyse : l'aléa en tant que probabilité qu'un phénomène naturel se produise

en un lieu donné et la vulnérabilité en tant que conséquence prévisible de ce phénomène sur des enjeux.

Après l'édition d'un guide général sur les PPR (1997), puis d'un guide dédié aux risques littoraux (1997), la DPPR a eu la volonté de réaliser un guide méthodologique relatif au risque incendie de forêt, à cela deux raisons:

- Les feux de forêts ont chaque année des conséquences économiques et écologiques non négligeables. En témoignent les feux de forêt de l'été 2000 qui ont ravagé l'ouest américain (1,6 millions d'hectares détruits), mais qui ont également sévi en Europe détruisant des milliers d'hectares de forêt, faisant de nombreux dégâts (bâtiments détruits, voies de communications coupées, évacuation de personnes en Grèce et mort de neuf hommes de la lutte contre les incendies en France). Plusieurs dégâts ont été enregistrés en 2001. Concernant l'été 2003, le sud de la France seul a enregistré 63 000 hectares et 10 morts dont 4 sapeurs pompiers.
- Le MATE est animé par une forte volonté de gérer le risque et les incendies de forêt par le biais des PPR. Cependant, le ministère dispose de peu d'expertise dans le domaine des incendies de forêt, domaine d'intervention privilégié du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAP). Ce manque de compétences et le besoin, de cohérence méthodologique ont motivé la demande du MATE pour l'élaboration d'un guide opérationnel. La réalisation du guide, qui se veut un document pratique a permis de mettre en évidence les difficultés majeures liées à la connaissance du risque incendies de forêt pour la cartographie réglementaire. En effet, les réflexions menées en parallèle à l'élaboration du guide nous conduisent à réaliser un état de l'art des connaissances et des modèles dans le domaine des incendies de forêt.

10-2-Contraintes pour les collectivités locales et impacts sur la population

Selon BLANCHI (2001) les lois de décentralisation ont conféré aux maires des pouvoirs en matière d'aménagement et d'urbanisation de leur commune. Or la mise en place des PPR se surimpose aux décisions prises au niveau communal. Cet outil administratif permet à l'Etat de revenir sur certains principes posés par les lois de décentralisation.

Ainsi dans son application locale, le PPR n'est pas perçu de la même façon par tous les maires. Certaines communes estiment qu'il est un frein à leur développement avec une forte intervention de la part de l'Etat. Les mesures visant la prévention du bâti futur constituent de fortes contraintes pour le foncier et le développement des collectivités locales (les mesures ont pour conséquence de geler l'urbanisation en fonction du risque).

Par ailleurs, la mise en place de cette politique a un coût que les communes ne peuvent pas forcément assumer (les communes ont-elles les moyens de réaliser des pistes DFCI, de faire du débroussaillage, de même les particuliers sont-ils prêts à payer plus cher une construction protégée des risques ?)

La mise en place de moyens de prévention a un coût non négligeable. Par exemple sur la commune d'Auribeau-sur-Siagne (Alpes-Maritimes) dotée récemment d'un PPR incendie de forêt, la mise en sécurité de certaines parcelles a demandé un investissement de 0,46 M d'Euros, avec des travaux d'entretien qui s'élèvent à environ 76000 d'Euros par an.

Il est possible d'ouvrir certaines zones à l'urbanisation en réalisant des mesures de prévention adéquates, mais cela implique de réviser le PPR pour rendre ces secteurs constructibles. Or, la difficulté vient du fait que l'initiative de révision appartient au préfet. Ces modalités compliquent en partie la mise en œuvre d'une politique de prévention.

10-3-Renforcement des dispositifs de lutte contre les incendies de forêt, après la canicule de 2003

Malgré le courage et le dévouement des sauveteurs, le bilan est lourd et implique une nouvelle réflexion sur la politique de prévention et de lutte contre le feu. La mission commune d'information créée par le Sénat tirera des leçons de la canicule et des incendies de l'été 2003. Dans l'immédiat, pour punir les incendiaires, l'action des forces de police, de la gendarmerie et des parquets a permis d'interpeller 88 personnes et d'en écrouer 25. Une cellule nationale spécialisée de la gendarmerie est à l'œuvre dans le Var. Par ailleurs, à l'occasion de l'examen du projet de loi portant sur l'adaptation de la justice aux évolutions de la criminalité, la destruction, la dégradation ou la détérioration d'un bien appartenant à autrui par l'effet d'un incendie de bois, forêts, landes, maquis, plantations ou reboisements, dans des conditions de nature à exposer les personnes à un dommage corporel ou à créer un dommage irréversible à

l'environnement sont passibles de quinze ans d'emprisonnement et de 150.000 Euros d'amende (articles 322-6 et suivants du code pénal).

En outre, dans sa communication du 1^{er} octobre 2003, M. Nicolas SARKOZY a incité les préfets à veiller à la prise en compte des risques de feux de forêt lors de la révision des documents d'urbanisme et a appelé à une généralisation des plans de prévention des risques liés aux incendies de la forêt. Il a également insisté sur la nécessité de contrôler l'obligation de débroussaillage, mal respectée par de nombreux propriétaires.

En 2004, des moyens opérationnels seront déployés dès le début de l'été dans le cadre de la stratégie d'intervention sur les feux naissants, bénéficiant de la coopération des services de Météo France, qui tendent à permettre d'attaquer un feu dans les dix premières minutes. Cette consolidation du dispositif existant sera facilitée par le renforcement des capacités opérationnelles du groupement des moyens aériens et la planification en amont du recours si nécessaire à l'étranger. Dans le but de compléter la capacité d'intervention, en 2003, de la flotte aérienne de la sécurité civile, un bombardier d'eau est loué au Canada, tandis que des appareils italiens, espagnols, grecs, allemands et russes sont engagés dans les opérations (COIGNARD, 2003). A ce titre, M. Patrick DEVEDJIAN, lors de son audition devant la commission des Lois, a indiqué que « la proposition du gouvernement français de mise en place au niveau communautaire d'un centre de recueil et de traitement des demandes de secours de la part d'un Etat membre, en cas de catastrophe majeure, avait suscité l'approbation de nos partenaires européens ».

11-Conclusion du chapitre VI

Depuis des années la France change et améliore ses lois et ses plans de prévention contre les risques naturels surtout là où la vie humaine est en danger. Pourtant le problème du risque incendie de forêt n'est toujours pas résolu. Chaque année, l'Etat et les collectivités locales consacrent près de cent quarante millions d'Euros à la prévention et à la lutte, etc. (Ministère de l'environnement et de l'écologie, 1999). Les incendies détruisent aussi des paysages et des milieux forestiers. Ces espaces sont précieux et mettent du temps à se reconstituer. C'est donc une partie du patrimoine national qui est affectée chaque année par ce problème.

La maîtrise des incendies doit intégrer différents éléments (mesures législatives, administratives et économiques, mise en place d'infrastructures, connaissances scientifiques et techniques, etc.). L'ensemble de ces éléments servira à mettre en place le dispositif global de protection contre les incendies, qui doit être suffisamment efficace pour empêcher les trois faces du triangle du feu de se rencontrer. Chaque pays accordera plus ou moins d'importance aux différents éléments au sein du dispositif global, en fonction des caractéristiques de son environnement et de son contexte spécifique. Prenons l'exemple de la Chine qui a modifié les principes de base de la gestion des incendies. Ceci a été particulièrement net en 1987 lorsque ce pays a dû faire face à une situation critique : dans le nord est, un immense incendie de forêt a brûlé plus de 1 million d'hectares et fait 200 victimes (www.fao.org). Cette cruelle leçon a conduit le Gouvernement Chinois à accorder plus d'attention à ce domaine et à prendre des décisions majeures pour renforcer la lutte.

La méthode de gestion a évolué, passant d'une méthode purement administrative à un modèle intégrant à la fois le législatif, l'administratif, l'économique, le scientifique et le technique. La dernière décennie a vu la parution de la « Loi nationale pour la prévention des incendies de forêt », la publication des réglementations des gouvernements locaux concernant l'application de cette loi, l'utilisation de nombreux types de mesures portant sur des subventions et des sanctions économiques, et une grande amélioration des normes pour les équipements de lutte anti-incendie. Des organisations de lutte anti incendie ont été mises en place dans tout le pays, du gouvernement central à l'échelon local. Les statistiques de fin 1997 recensent 3006 quartiers généraux de lutte anti incendie et 3069 bureaux exécutifs répartis dans tout le pays. Des structures de coordinations entre les agences gouvernementales ont été mises en place pour l'extinction des incendies mais aussi pour la prévention. Les responsabilités des autres organismes impliqués dans ce combat, relevant de la communication, des transports, de l'aviation civile, des prévisions météorologiques, de la médecine, ont aussi été clairement définies par la loi. Celles-ci prévoient également que l'on fera appel à l'armée pour les actions d'extinction dans des situations d'urgence. Ces améliorations ont fourni l'environnement transversal de base permettant à tous les secteurs de participer à la lutte anti- incendie et à la prévention.

La diminution du risque implique d'amener le public et les différents groupes responsables à mieux prendre conscience des dangers de l'ignition et des incendies de forêt qui en résultent, par l'éducation et la mise en application des règlements. Le service des forêts

estime qu'une opinion publique fortement favorable est indispensable pour réduire le nombre d'incendies causés par la population. Pour atteindre cet objectif, on utilise de plus en plus l'ensemble des canaux de communication disponibles : moyens de diffusion de l'information et médias locaux, radio, télévision, journaux et magazines, programmes d'éducation dans les écoles, bases militaires, clubs divers, affichage et contacts personnels. La méthode consistant à faire appliquer les lois sur les incendies s'est aussi révélée potentiellement efficace pour la prévention des incendies de forêt, puisque les lois permettent à la fois d'éduquer le public et de dissuader les personnes négligentes ou malveillantes d'avoir un comportement destructeur. Selon MISSOUMI et TADJEROUNI (2003) lutter contre les incendies est une chose appréciable, les prévenir l'est davantage. Il ne suffit pas de concéder des efforts et du temps contre les feux de forêt, il faut surtout tenter de guérir le mal à la source. A cet effet, les impacts des campagnes de sensibilisation ne sont pas à négliger.

Enfin, s'il y a des Hommes pour lesquels « l'arbre ne cache pas la forêt », ce sont bien ceux qui sont chargés de la gestion et de la protection de cette ressource naturelle, afin d'en tirer les meilleurs profits tout en préservant sa pérennité.

3^{ème} partie

Méthodologie, analyse du risque feu de forêt et identification des zones incendiées à partir de la télédétection : présentation et application dans le bassin versant du Paillon

Chapitre V
Traitements statistiques, géométriques et
analyse diachronique des photographies
aériennes et d'une image satellitale. Utilisation
de différents logiciels pour la mise en place
d'un SIG



N. HESSAS, 2003

Chapitre V : Traitements statistiques, géométriques et analyse diachronique des photographies aériennes et d'une image satellitale. Utilisation des différents logiciels pour la mise en place d'un SIG

Durant plusieurs années, les incendies ont dévasté le département des Alpes-Maritimes. Afin de comprendre le phénomène, nous avons jugé utile de répertorier tous les feux qui ont touché le département sur une base de données géoréférencées. Le travail permet de conserver la mémoire des événements. Ces données constituent une source d'informations qui viendra compléter la présentation des risques au niveau départemental.

Quatre phases essentielles constituent la chaîne de traitement des données.

- La première étape représente la phase de préparation des données. Son but est la mise en forme des données et leur cohérence géographique pour les préparer à l'étape suivante qui est celle du traitement des données.
- La deuxième étape consiste à extraire les informations désirées des produits de l'étape précédente en leur appliquant des techniques de traitement adaptées aux types de données, aux thématiques recherchées. Ce sont des algorithmes de calcul qui permettent de réduire la quantité d'informations contenues dans l'image en vue de la segmenter en un certain nombre de classes représentant les thèmes que l'on veut et que l'on peut mettre en évidence. C'est la classification des images.
- La troisième étape consiste à intégrer les résultats obtenus dans un système d'information géographique. Ils serviront dans la procédure d'analyse spatiale des informations propres aux SIG en vue de leur exploitation pratique à des fins de gestion.
- Enfin, la dernière étape est la réalisation d'une simulation avec le modèle Prométhéus.

1-Choix de la zone géographique d'étude

Le contexte géographique choisi est un milieu à fortes contraintes physiques et fortement anthropisé. Il s'agit du Paillon, un bassin versant de moyenne montagne à forte pente. Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets. On ne parle plus aujourd'hui de réseau hydrographique mais de bassin versant. Véritable lieu de rencontre entre des phénomènes

naturels et humains, le bassin versant est au cœur d'une problématique complexe, entre activités humaines et maintien des équilibres écologiques. Le bassin versant est le siège de nombreuses activités humaines. Qu'elles soient le résultat d'une action volontaire ou involontaire, les conséquences de ces activités modifient profondément le fonctionnement du bassin versant. En installant ses cultures et ses villes sur les versants, l'homme a également modifié la couverture végétale, essentielle pour retenir les eaux de ruissellement. Les routes, les trottoirs ou les parkings, par exemple, sont autant de surfaces imperméables qui empêchent l'infiltration des eaux. Augmenter le ruissellement, c'est aussi accroître les risques de crues et donc d'inondations. Ainsi, 70 % de l'eau prélevée est utilisée en agriculture ; cette dernière en restitue moins de 10 %. En été, ces prélèvements accentuent les étiages et entraînent des risques d'assèchement des rivières, comme l'ont montré les sécheresses de 1989 et 1990 dans le midi de la France.

Tous ces facteurs cités tels que l'occupation de l'homme, l'assèchement et les prélèvements, créent un milieu favorable aux incendies. La végétation qui participe à l'infiltration et à la rétention s'assèche et devient inflammable. Le feu trouve alors son milieu avec une pente élevée. Malheureusement, ce phénomène présent dans cette étude et qui en fait l'objet, détruit ces arbres et l'écosystème. Ce choix du milieu est suivi par le choix du feu qui est allié au relief et au climat. Les conditions climatiques qui règnent dans ce milieu d'étude sont de type méditerranéen ; cependant il existe des influences climatiques exogènes de part et d'autres de la vallée, elles sont continentales vers l'ouest et littorales à l'est. Ces particularités climatiques additionnées au relief montagneux engendrent une répartition biogéographique particulière des espèces végétales. D'une manière générale, les pentes sont soutenues ce qui facilite, en cas d'incendie, la propagation des flammes et réduit l'accessibilité. Les bassins versants sont des milieux très favorables aux incendies vus la fréquentation de l'homme que cela soit pour l'agriculture, les loisirs et les constructions. Les zones brûlées observées sur les photographies aériennes ont fait l'objet de critères de choix plus nombreux, afin de cerner au mieux la problématique.

2-Elaboration d'une base de données et les supports techniques utilisés

Les premières sources de données envisagées pour documenter et illustrer les niveaux d'informations sont les bases de données déjà existantes, tels que les documents

cartographiques, ou des données recueillies dans diverses études, dans la mesure où toutes ces informations peuvent être localisées avec des coordonnées géographiques dans différents systèmes de projection. L'utilisation de la numérisation et de la digitalisation sur des documents cartographiques classiques tels que les cartes s'est développée au cours des dernières décennies. De nos jours un certain nombre de bases de données sont accessibles via Internet ; elles sont consacrées à la recherche sur l'environnement. Il existe d'autres moyens d'acquisition de bases de données dans le cas où celles-ci ne seraient pas accessibles ; elle peut se faire par enquête, par un travail de terrain ou à l'aide de toute une panoplie de moyens tels que télédétection, GPS,.... Les données collectées pour la réalisation de ce travail sont de plusieurs types :

- des cartes IGN topographiques Nice - Menton au 1/25 000 de 1999 et 1/50 000 d'Environ de Nice de 1936 ;
 - une carte géologique de Nice au 1/250 000, du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), datée de 1979 ;
 - des cartes de la végétation au 1/200 000 de Nice, n° 68 OZENDA Paul, CNRS – IGA, de 1961 ;
 - CORINE Land Cover de Nice au 1/100 000 de 2000 ;
 - 70 photographies aériennes : trois missions de différentes années de 1955-1977-1990 du bassin versant du Paillon ;
 - une image infrarouge, Mission 001, Spot 2 du 15/06/2002 à 8 heures ;
 - un Modèle Numérique de Terrain de Nice ;
 - le cadastre de Nice au 1/2500 sous forme d'un fichier numérique;
 - les données climatiques allant de 1949-2002 de Météo France,
 - sur le site Internet Promethée.com sont affichées les données statistiques relatives aux incendies de 1973 à ce jour ;
 - GPS (L'e Trex Summit) ;
 - Surfer 8, logiciel d'interpolation;
 - un logiciel de traitement d'images (ER Mapper) ;
 - Map info, logiciel SIG, flexible et présente plusieurs fonctions ;
 - Logiciel Idrisi 2, 4 Clark University ; fonctions multiples ;
 - ESRI Arcview 8.1. (Arcmap, ArcToolbox, Arccatalog), logiciel SIG
 - le scanner « hp scannjet 3670 » et le logiciel de retouche d'image, Adobe Photoshop 7.0
- ME

La première étape, du travail, dans l'approche fonctionnelle des feux de forêt du bassin versant est consacrée au recensement des différents incendies observés dans le département des Alpes-Maritimes et à leur analyse statistique. La deuxième concerne la description des méthodes proprement dites pour l'étude du feu et l'évolution du milieu dans le bassin versant du Paillon à l'aide de photographies aériennes. Nous avons choisi une méthodologie utilisant les capacités de la télédétection. Une série de manipulations informatiques sur les logiciels va nous permettre d'avancer progressivement dans la mise en place du SIG final. Ce chapitre nous montrera les grandes étapes dans sa mise en œuvre, sa fonctionnalité et ses limites. En résumé cette partie est consacrée à la description de la méthodologie utilisée pour l'étude des phénomènes « incendie » dans le bassin versant du Paillon avec une approche qui est celle des systèmes d'information géographique. Des définitions sont aussi données.

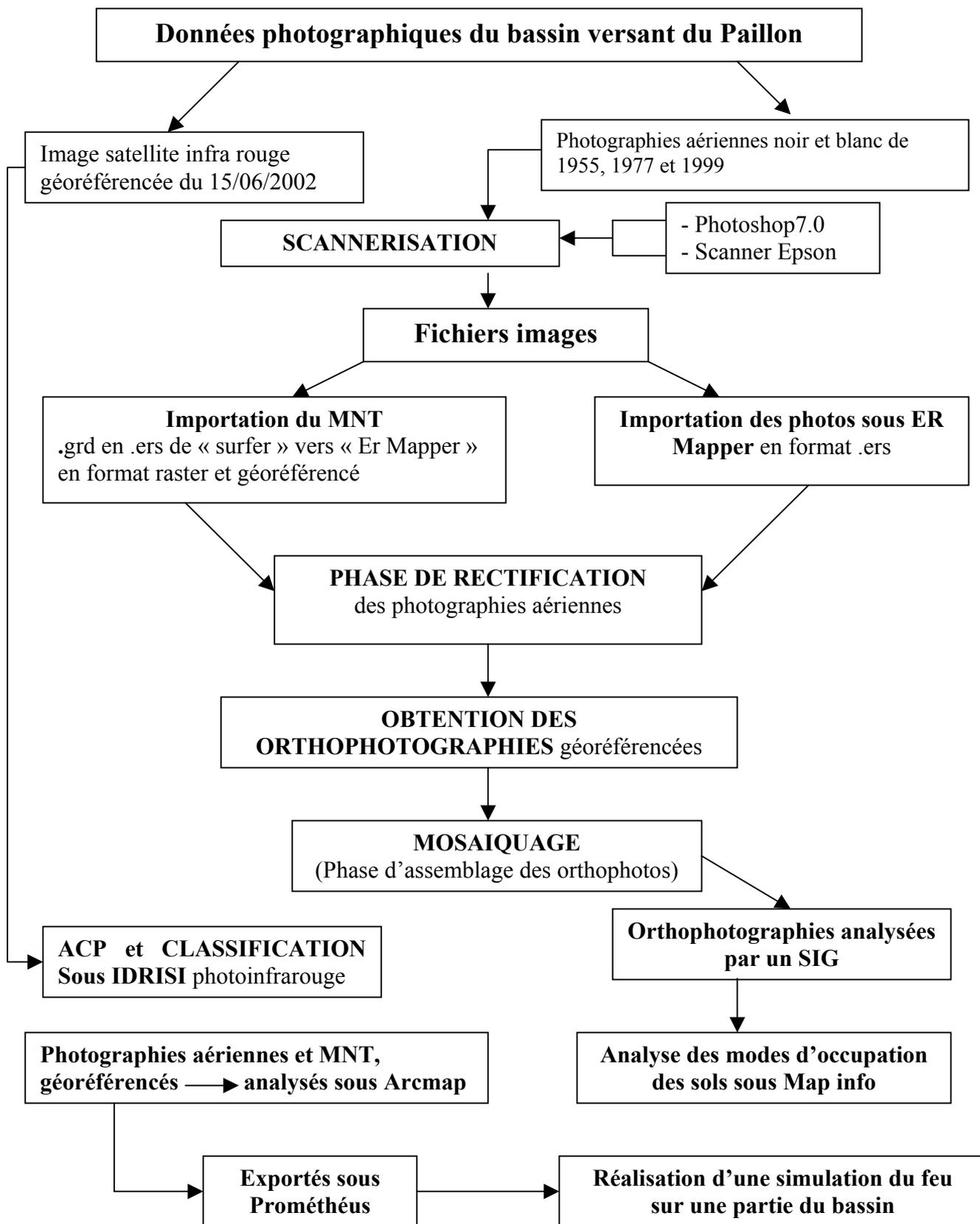


Fig. 26 : Schéma récapitulatif des différentes étapes étudiées ; la méthode de redressement des photographies aériennes.

N. HESSAS, 2004

3-Définitions et aperçus des outils utilisés

3-1-Systèmes d'informations géographiques (SIG) et cartographie

La cartographie est l'ensemble des études et des opérations, scientifiques, artistiques et techniques, intervenant à partir des résultats d'observations directes ou d'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration et de l'établissement de cartes, plans et autres modes d'expression, ainsi que dans leur utilisation »(www.cdig-var.org). Elle a pour avantage de modéliser chaque entité étudiée, pour finalement aboutir à un document de synthèse, mettant en exergue les éléments essentiels à des fins analytiques.

Alliée aux SIG, la cartographie s'est informatisée. Cette nouvelle technique de gestion offre la possibilité d'exploiter le maximum d'informations pertinentes et ce grâce au Système de Gestion de la Base de Données (SGBD). Le SIG combiné à la cartographie va donc nous permettre de réaliser des documents cartographiques montrant l'évolution du bassin versant du Paillon entre 1955, 1977 et 1990.

Les systèmes d'information géographique (SIG), apparaissent comme un outil incontournable permettant d'organiser les couches d'informations et de les analyser dans le but d'en extraire les données, intégrées à l'échelle du bassin versant. Ces données pourront être les données d'entrées des modèles de prédiction et de quantification des processus d'incendie. L'utilisation d'un SIG pour la prévention des risques naturels concerne essentiellement la cartographie et la simulation des phénomènes concernés.

3-1-1-Le SIG en théorie

Le traitement informatique de données liées aux risques naturels entre dans le cadre de la géomatique. Selon GAGNON et COLEMAN (1990), la géomatique est un champ d'activités scientifiques et techniques qui intègre, suivant une approche systémique, l'ensemble des moyens d'acquisition et de gestion des données à référence spatiale utilisées dans le processus de production et de gestion de territoires.

Un SIG peut être défini comme un ensemble coordonné d'opérations généralement informatisées destinées à transcrire et à utiliser des données géographiques sur un même territoire. Ce dispositif vise particulièrement à combiner au mieux les différentes sources

accessibles: bases de données, savoir-faire, capacité de traitement selon les applications demandées. On identifie un SIG grâce à quatre principales fonctionnalités:

- l'acquisition des données d'entrée
- stockage, récupération et gestion de bases de données
- manipulation et analyse des données
- affichage des données permettant à l'utilisateur d'appréhender les phénomènes spatiaux.

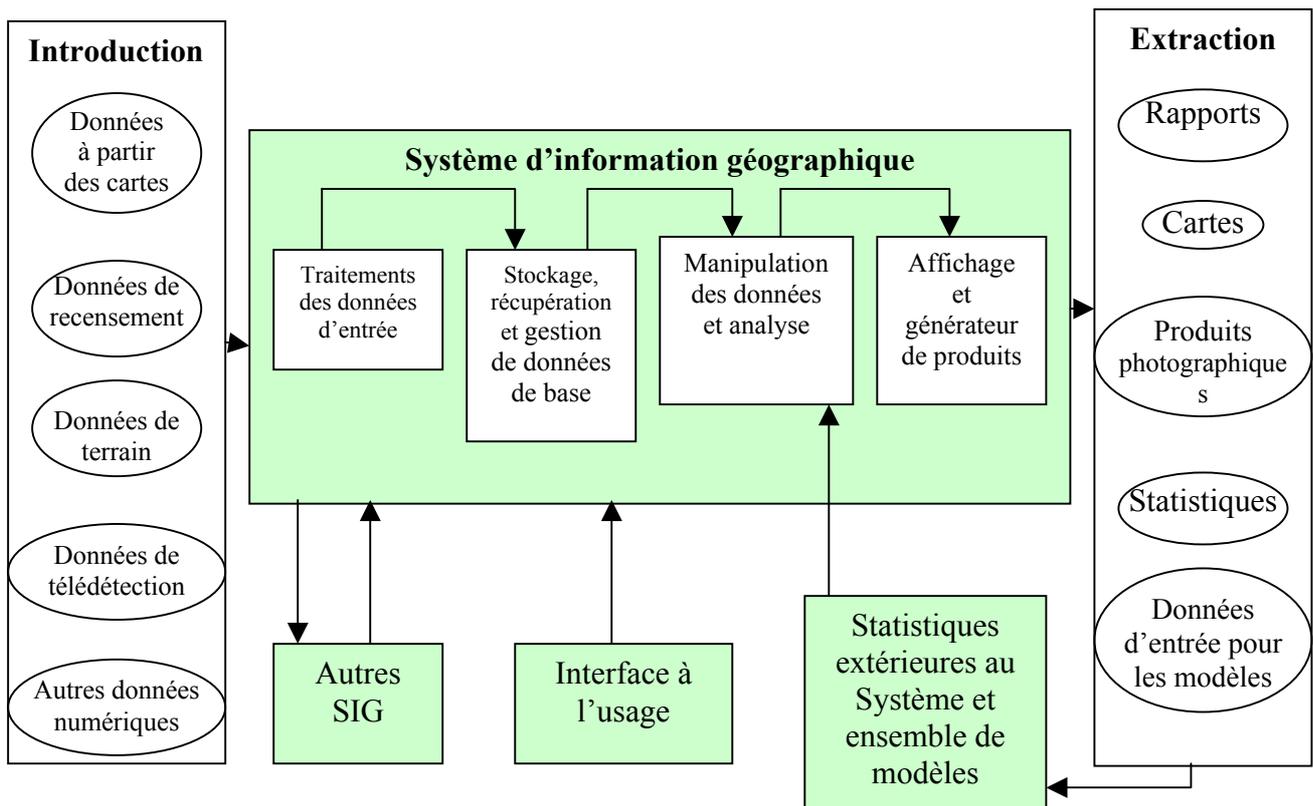


Fig. 27 : Composantes d'un SIG

Source : TROUILLON, 2001

Les systèmes d'informations géographiques (SIG) sont des logiciels de plus en plus utilisés (DUBOST, 1993 in ROLLAND, 1997) ; ils permettent une mise à jour simple des informations qu'ils contiennent et le travail sur plusieurs échelles. Ils construisent des bases de données spatialisées et géoréférencées. Ils ont pour but d'améliorer la connaissance d'un milieu géographique et d'en permettre une meilleure gestion (ALLIGNOL et SANDAKLY, 2000).

De nos jours, il existe toute une panoplie de logiciels (SIG) qui assistent l'utilisateur dans ses activités ; ces derniers peuvent être différents dans la manière de représenter et de

gérer l'information géographique. L'intérêt important que portent les chercheurs aux SIG réside dans la capacité d'organisation et d'intégration de l'information spatio-temporelle qu'ils offrent. Il est essentiel de rappeler que ces outils, les SIG, permettent l'analyse des relations spatio-temporelles, entre les données géographiques. Selon EASTMAN (1995) une telle compréhension a permis aux chercheurs de développer différentes techniques d'analyse multicritères et d'aide à la décision assistée par ordinateur.

Selon LANGRAN (1989) les progrès scientifiques en matière d'informatique et d'électronique ont donné lieu à différentes applications des SIG :

- gestion et aménagement du territoire ;
- analyse et prédiction des risques majeurs ;
- élaboration des scénarii d'évacuation et d'intervention de sécurité civile ;
- santé (étude de la prolifération et de la propagation d'une épidémie) ;
- recherche en écologie, hydrologie et géologie ;
- militaire (logistique et mouvements de troupes).

3-2-Quelques concepts de base en « mode image » et « mode objets »

Il est nécessaire de connaître les modes d'acquisition et les différentes techniques de représentation des objets.

3-2-1-Mode vecteur et raster

Les modalités d'acquisition des données ainsi que les représentations des objets sont très variées. De même les méthodes de stockage de ces données et leur représentation, sont différentes. Deux types de représentations des objets sont possibles : les coordonnées géographiques des objets peuvent être archivées sous la forme de vecteurs (mode vecteur) ou sous forme d'images (mode raster). D'après BRASSEL et *al.* (1988), le choix du type de représentation constitue une étape importante dans la mesure où il va considérablement influencer la méthode de généralisation de l'information spatiale.

La structure vectorielle est composée d'un grand nombre de points. Chaque point est décrit par ses coordonnées en X et Y dans un système de référence ou de projection (en latitude, longitude ou kilométrique tel que Lambert) et par un attribut ou un numéro

d'identification qui est relié à une base de données. Chaque point peut représenter un objet : « bâti, une borne géodésique... ». La structure vectorielle permet de représenter les points en arcs. Ces derniers une fois associés, donnent naissance à des objets linéaires qui représentent la réalité : « cours d'eau, courbes de niveau, routes, ... ». Un arc fermé, peut représenter une surface telle qu'une « parcelle, une retenue colinéaire, un bassin versant... » ; il implique une représentation en mode d'objet. Ce mode est bien adapté pour décrire la topologie pour des bases de données thématiques tels que « les types de sols, couvert végétal... ». De plus, elle limite la quantité d'informations à stocker. Par ailleurs, il est mal adapté pour décrire des variables spatiales continues comme l'altitude ou la température.

Le mode raster est plus adapté pour représenter des variables continues. De plus, la représentation sous forme de grille correspond bien à l'organisation informatique des données. L'inconvénient que représente ce mode réside dans la taille des fichiers, étant donné que chaque pixel contient une information. En mode raster, la même surface peut être représentée par un grand nombre de pixels. Ce mode est également adapté pour l'utilisation de méthodes de traitement numérique de l'information pour la description de certains éléments géographiques naturels. Il est difficile de séparer ou de tracer une limite arbitraire dans une forêt pour séparer deux essences forestières, quand sur le terrain il existe en fait une zone de transition où sont observés deux gradients d'essences. Leur manipulation est plus aisée car le contour des objets suffit pour les décrire. Elle est plus adaptée à des données discrètes dont les limites sont précises (réseaux, séparations administratives, ...).

4-Analyse statistique des données recueillies

Le recueil des données sur les feux est centralisé, pour la zone de défense sud, dans le cadre du dispositif Prométhée. Au niveau départemental, la DDAF est le correspondant local de la DPFM (Délégation à la Protection de la Forêt Méditerranéenne) chargé d'animer une équipe composée d'un gendarme, d'un sapeur- pompier et d'un forestier de l'O.N.F. Cette équipe assure la saisie des informations sur les feux avec un module du serveur Prométhée accessible par Internet.

L'analyse sur les incendies s'étale sur une grande échelle dans le département des Alpes-Maritimes, et sur une période de 30 ans. Les résultats sont plus significatifs et apportent beaucoup de renseignements.

Les analyses des incendies sont faites grâce au logiciel de statistiques appelé excel. L'analyse factorielle de correspondance et de classification automatique sont réalisées avec XLstat. Les résultats sont présentés et interprétés dans le chapitre suivant (VI).

4-1-Données en relation avec le temps

Analyser l'évolution des incendies dans le temps :

- des nombres d'incendies et des superficies brûlées: nombres d'incendies, surfaces brûlées totales, maxima et moyennes par feu, par année, par mois, par jour ou par heure ;
- des délais de première intervention et du temps d'extinction: délais d'intervention en minutes, temps d'intervention en jour (s) ou en semaine (s).

Cette analyse vise à étudier la variabilité temporelle du risque en vue de fournir aux services chargés de la DFCI un outil d'aide à la décision pour affiner la prévision du risque mais aussi la localisation des zones et ainsi mieux adapter le dispositif préventif de surveillance et de lutte.

4-2-Données en relation avec le lieu

Analyser les relations entre le lieu d'éclosion et :

- le nombre de feux : nombres d'incendies par région ;
- la superficie brûlée : surfaces brûlées totales, maximales et moyennes par feu ;
- l'évolution dans le temps du nombre d'incendies et des superficies brûlées : nombre d'incendies et surfaces brûlées totales, maximales et moyennes par feu, par région, par année.

4-3-Données en relation avec les temps d'intervention

Analyser les relations entre les superficies brûlées et :

- les délais d'intervention : nombres d'incendies en % par classes de surfaces et classes de délais d'intervention ;
- les temps d'extinction : nombres d'incendies en % par classes de surfaces et classes de temps d'extinction.

Analyser les résultats obtenus précédemment en relation avec la disponibilité des moyens de lutte d'après la date de première alerte.

4-4-Données en relation avec la végétation brûlée

Analyser les relations entre :

- les nombres de feux et les types de végétations ;
- les surfaces brûlées et les types de végétations.

4-5-Données en relation avec les causes d'incendie

- les causes d'incendies : causes d'incendie par commune et par année.

Analyser les relations entre :

- la fréquence des incendies de cause accidentelle par négligence et les jours de semaine ;
- la fréquence des incendies intentionnels et les jours de semaine ;
- la fréquence des incendies intentionnels et l'heure de la première alerte.

4-6-Données en relation avec les conditions météorologiques

Analyser les relations entre :

- les nombres de feux, les surfaces brûlées et la température maximale de l'air ;
- les nombres de feux, les surfaces brûlées et la vitesse maximale du vent.

4-7-Analyse des feux particuliers

Les feux présentant des caractéristiques particulières concernant les surfaces brûlées, la date, le lieu, la cause, les délais d'intervention et/ou d'extinction doivent être analysés afin de savoir comment et pourquoi cela s'est produit de façon à, par exemple, corriger l'organisation de la lutte si l'incendie a été catastrophique.

Après une analyse statistique sur les données récoltées sur Prométhée et collectées chez les pompiers, les résultats sont présentés et interprétés dans le chapitre VI.

4-8-Analyse factorielle de correspondance A.F.C.

L'A.F.C. est une représentation géométrique des éléments dans un espace multidimensionnel sous forme de nuage de points (BENZECRI J. P. et BENZECRI F., 1984).

- **L'inertie totale** : on appelle inertie totale du nuage de points, la moyenne des carrés des distances des X points au centre de gravité (DELAGARDE, 1983).

Cette quantité caractéristique du nuage, mesure l'éloignement des points par rapport à leur centre de gravité, c'est-à-dire la dispersion globale du nuage. Elle est égale à la somme des valeurs propres.

- **Les valeurs propres** : elles permettent de quantifier la part de l'information expliquée par les différents axes (DERVIN, 1988).

5-Matériels utilisés sur le terrain et dans le laboratoire sur ordinateur

Nous disposons sur un même espace géographique de données de nature et de format différents.

- d'une part, des données topographiques représentées sur une carte sous format graphique (discret) à l'aide de courbes de niveau ;
- d'autre part, des données sur photographies aériennes enregistrées sur support papier dans un format analogique (continu).

Un volet de transformations consiste à ramener ces données dans un format identique, accepté par les programmes informatiques de traitement de données, à savoir un format matriciel. L'autre volet consiste à ramener ces données dans un même référentiel géographique ou cartographique,

- d'une part, pour leur superposition et leur localisation spatiale,
- d'autre part, pour leur comparaison à des données acquises par d'autres moyens.

5-1-Cartes topographique, géologique et de végétation avec CORINE Land Cover

Utilisée en format papier et en format numérique, la carte topographique permet de représenter « à moyenne ou à petite échelle des éléments naturels et artificiels situés sur la surface terrestre, ainsi que les formes du terrain » www.cdig-var.org. Elle est d'une grande utilité pour faire du repérage dans l'espace : c'est la base d'un travail de cartographie, car sans référence géographique, le travail de spatialisation n'a pas de sens. La carte topographique nous a permis dans un premier temps de créer un modèle numérique de terrain, de pouvoir redresser les photographies aériennes, grâce au système de géoréférencement.

Les cartes topographiques et le cadastre ont été d'une grande utilité dans le géoréférencement. La carte de végétation et surtout CORINE Land Cover sont des documents qui donnent le couvert végétal existant. Quant à la carte géologique elle renseigne sur la composition du sol. L'échelle que présente chaque carte est différente mais ne cause aucun problème, les documents étant tous scannés, enregistrés et géoréférencés de la même manière. Ce travail a débuté au LTHE sur le logiciel Arc Info importé ensuite sous Map Info.

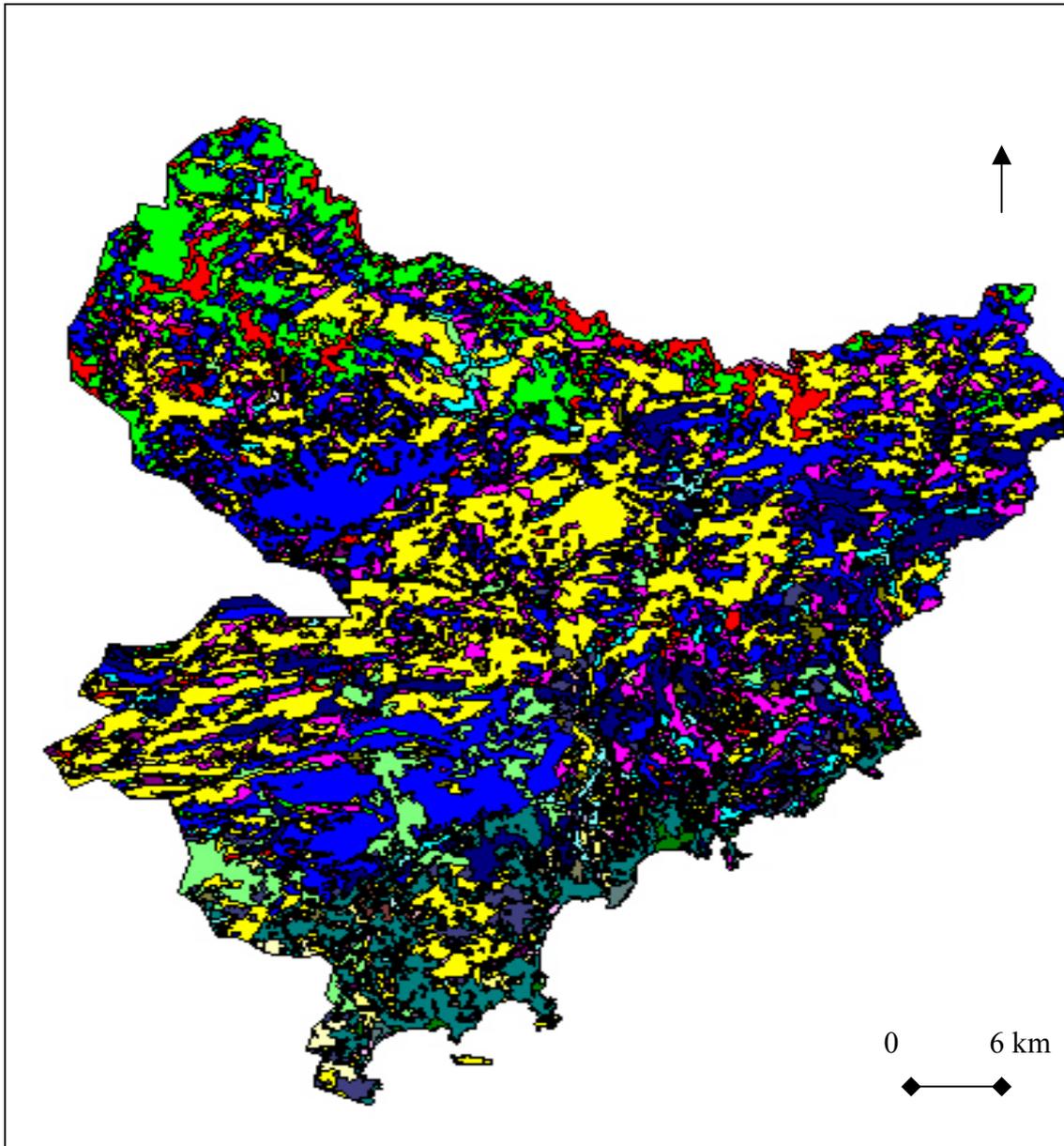


Fig.28 : Carte de CORINE Land Cover du département des Alpes-Maritimes
 (Voir annexe pour la légende).

Source : SDIS Villeneuve Loubet, 2003

5-2-Global Positioning System (Système de positionnement par satellite)

La précision du calage géographique par rapport à des points géodésiques de référence et le choix du système de coordonnées constituent un point essentiel dans l'élaboration d'une base de données. Pendant la digitalisation et la numérisation des cartes, le positionnement des objets est effectué avec le système de projection. Il est nécessaire lors de l'acquisition de terrain, d'utiliser un système de positionnement géographique. Les relevés de terrain sont possibles par l'utilisation de moyens de cartographie classique (théodolite, niveau, ...) pour

les petites échelles. Pour la cartographie de zones plus importantes, l'utilisation du GPS est recommandée. Lors des interventions, les équipes sont munies de tout ce matériel moderne qui leur permet une localisation précise du lieu de l'incendie.

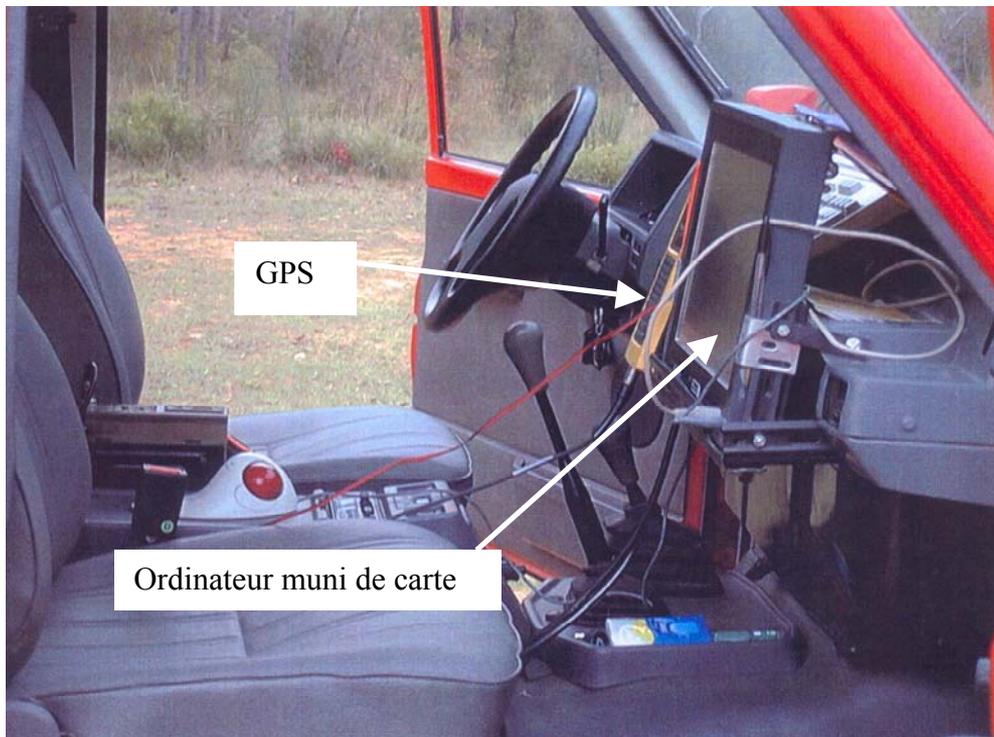


Photo 12 : Un véhicule de SDIS équipé d'un GPS et d'un ordinateur

Source : com. Pers. SDIS 06, Villeneuve Loubet, 2003

Après incendie, l'ONF et le SDIS sont chargés de délimiter le feu avec un GPS afin de pouvoir calculer la ou les surfaces brûlées. Grâce à ce système, on arrive à avoir les coordonnées terrestres et l'altitude de ces dernières. Ces données sont dessinées sous forme de vecteurs et seront superposées sur une carte topographique calée ou une photo aérienne. La forme obtenue nous renseigne sur la propagation du feu et les différentes contraintes physiques et chimiques qui interfèrent. A Villeneuve-Loubet avec le SDIS, lors du stage, nous avons délimité la surface brûlée avec le GPS, dans le massif du Lucéram et de Cagnes-sur-Mer, des incendies de 2003 (figure 29). L'appareil utilisé comprend en même temps une boussole, un altimètre barométrique. Il permet un suivi des changements de pression barométrique et d'altitude.

Le GPS présente un avantage car il permet la mise à jour instantanée sur le terrain des bases de données environnementales.

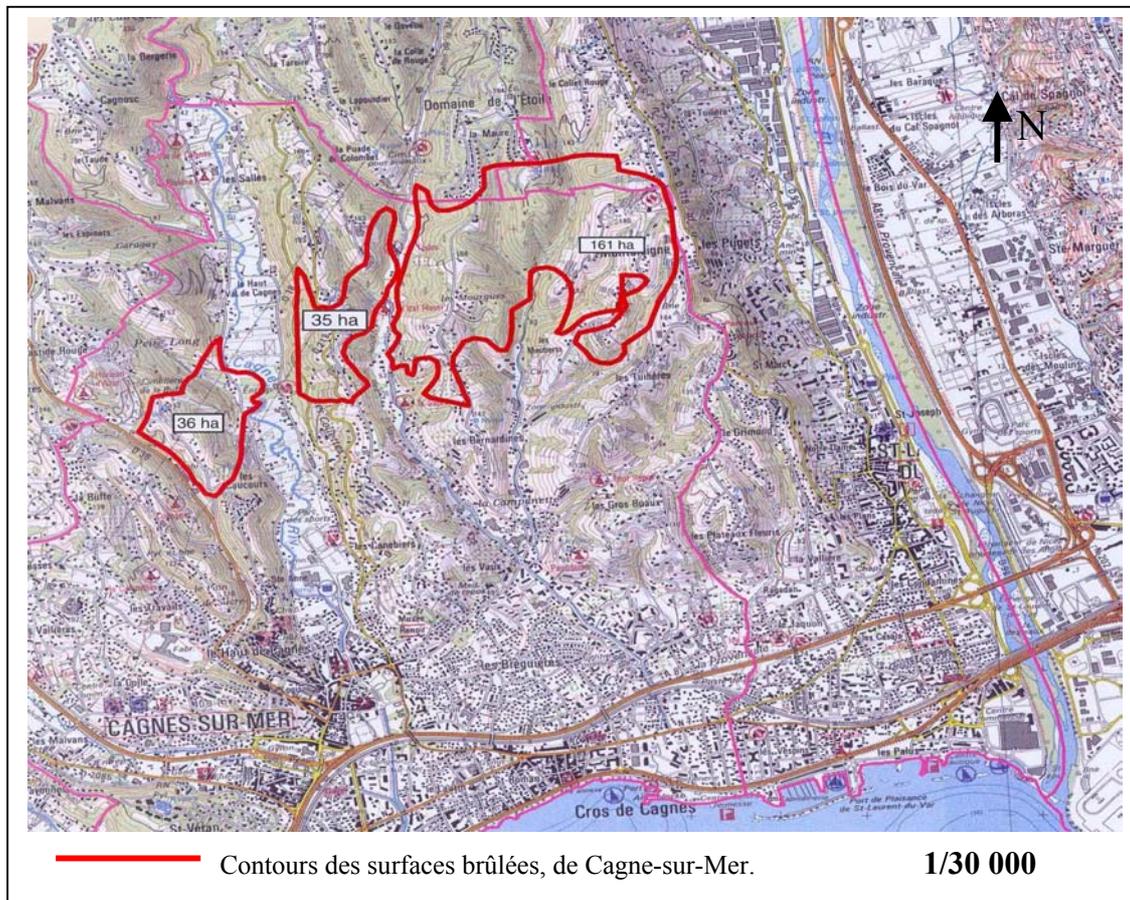


Fig. 29 : Contours de feux à Cagnes-sur-Mer, délimités avec un GPS par l'ONF et les Pompiers.

Source : com. pers. SDIS, Villeneuve-Loubet, 2003

5-3-Modèle Numérique de Terrain : Création d'un MNT

La prolifération des données géographiques associées à l'essor de l'informatique ont contribué à la généralisation des Modèles Numériques de Terrain (MNT) dans des thématiques différentes. « Un Modèle Numérique de Terrain (Digital Elevation Model) est une représentation sous forme numérique du relief d'une zone géographique ». Il peut « être composé d'entités vectorielles ponctuelles (points cotés), linéaires (courbes de niveau), surfaciques (facettes) ou représenté en mode raster (cellules) » www.cdig-var.org. Autrement dit, un MNT est une représentation imagée de l'aspect topographique d'une zone, en fonction des différentes classes d'altitudes. Sa qualité va dépendre du nombre de points de saisie, de leur distribution spatiale, de la continuité spatiale du phénomène dans la zone à traiter et du mode d'interpolation des points.

En ce qui concerne la méthode d'élaboration d'un MNT, elle est techniquement assez simple, mais requiert un minimum de patience et de précision surtout pour le travail de digitalisation. Pour créer un MNT, il existe deux méthodes :

- l'une consiste à digitaliser les courbes de niveau d'une carte topographique et à interpoler toutes les données requises (LI, 1994, EASTMAN, 1995, ...)
- l'autre consiste à combiner des éléments restitués par photogrammétrie « technique qui permet d'obtenir des informations quantitatives à partir de photographies » (GIRARD M. C. et GIRARD C. M., 1999) avec des courbes de niveau digitalisées.

Le MNT utilisé pour le redressement des trois séries de photographies aériennes achetées à l'I.G.N par F.ALLIGNOL (LTHE Grenoble), lors du stage en 2001, couvre une surface de 250 km² pour une précision de 30 m. Par contre, un MNT a été créé, sous le logiciel de cartographie Map info, sur une petite zone de notre bassin pour la partie modélisation et simulation des incendies de forêts. La gravité est l'élément essentiel pour comprendre la propagation du feu d'où l'importance du modèle numérique de terrain pour suivre l'évolution et la forme de l'incendie.

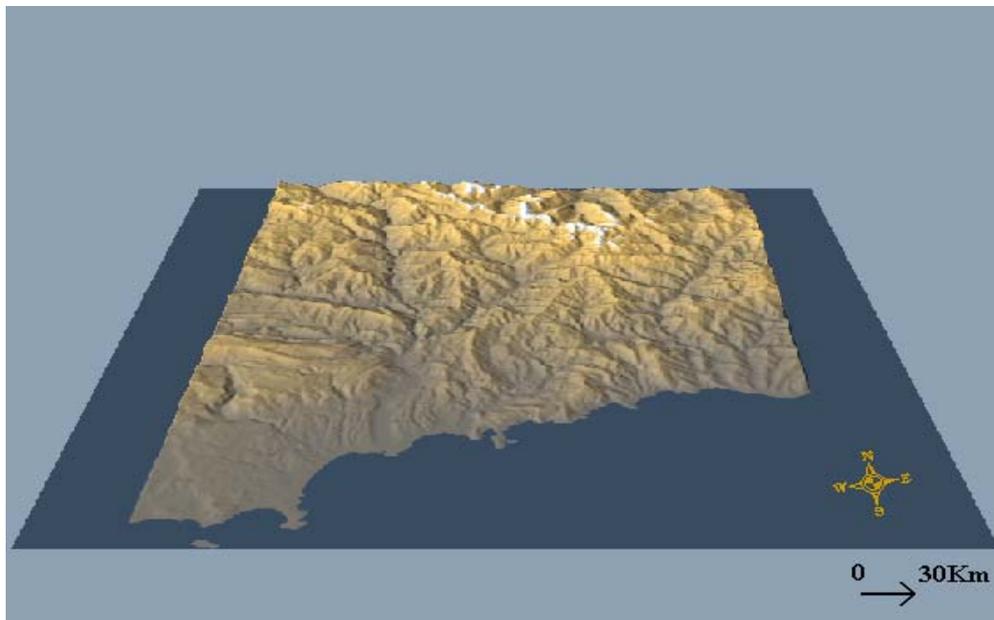


Fig. 30 : Représentation d'une partie du Modèle Numérique de Terrain du bassin versant du Paillon en 3 D

Source : IGN, 2001

La première opération consiste à caler une carte topographique au 1/25 000 sous Map info ; la projection utilisée est Lambert 2 étendu avec une unité « le mètre », suivie d'une digitalisation des courbes de niveaux en leur attribuant leur altitude dans la base de données.

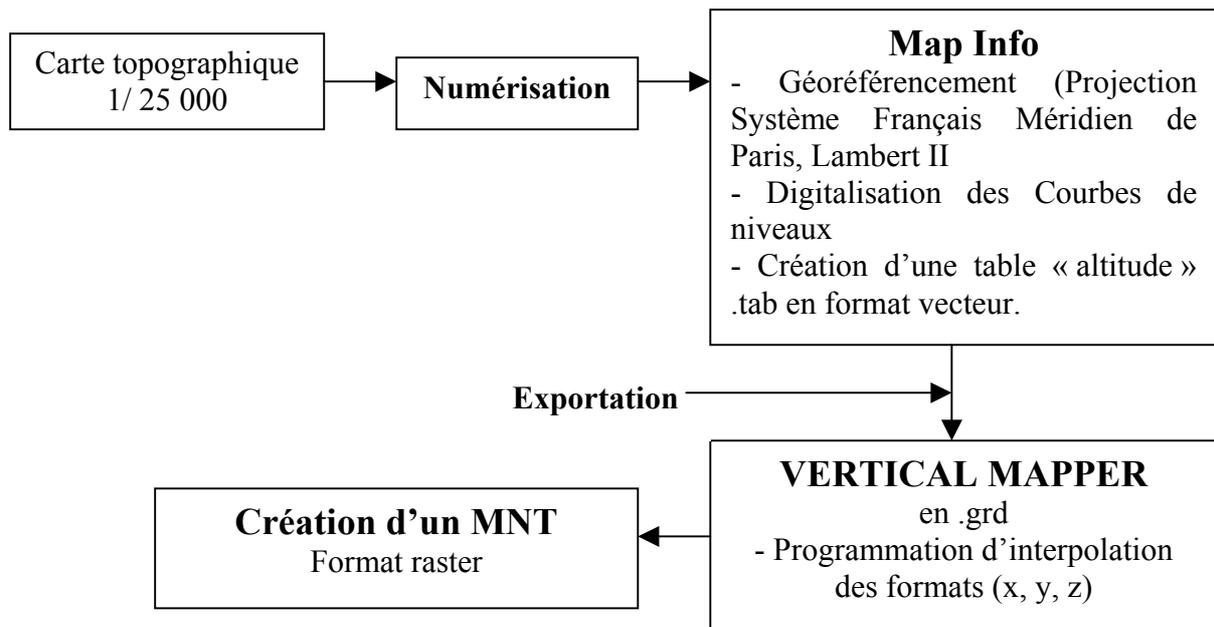


Fig. 31 : De la carte topographique au Modèle Numérique de Terrain

N. HESSAS, 2005

5-4-Photographies aériennes : photos en noir et blanc de 1955, 1977 et 1990

La photographie aérienne constitue la plus ancienne technique d'acquisition de l'information à distance. La réalisation d'une étude diachronique sur le bassin versant du Paillon, par le biais de photographies aériennes, permet de cerner une dimension spatio-temporelle très précise, telle que la progression du front d'urbanisation, les incendies du bassin ou encore l'emprise de la forêt sur les espaces agricoles, ou sa régression. Pour suivre les étapes de la reconstruction de la végétation dans une zone brûlée, nous avons choisi la méthode diachronique. Il s'agit de voir au cours du temps sur des milieux permanents les modifications de la flore installée après le passage du feu. La nature et la répartition spatiale des formations végétales de 1955, 1977, 1990 seront comparées entre elles.

Au fil des années, les SIG se sont complexifiés et ont intégré dans leurs fonctions le traitement de documents numérisés et l'analyse spatiale. Le résultat est de pouvoir travailler avec des bases de données plus conséquentes, celles-ci étant devenues capables de stocker une multitude de données et ce, de manière à être de plus en plus précises lors des analyses et compte rendus.

L'emploi de photographies aériennes se justifie pour de multiples raisons. L'étendue du terrain a nécessité de se procurer une représentation globale des sites et une vision des

milieux à proximité des aménagements. L'histoire du milieu est conservée. La seule représentation spatiale réelle qui décrit l'état du milieu à une date précise est la photographie aérienne. L'intérêt de travailler avec ces documents réside dans le fait que ce sont des outils de diagnostic aux résultats performants. Ils donnent de surcroît la possibilité de travailler sur des clichés anciens ou récents, offrent une portion spectrale vaste et allègent le travail sur le terrain.

Ainsi l'apport de la photographie aérienne dans un SIG permet de combiner les valeurs de mesure de l'altitude du MNT avec une représentation spatiale imagée de l'ensemble du bassin versant du Paillon. L'utilité, par la suite, est donc de pouvoir mettre en exergue les différents types d'évolutions constatées dans la vallée, entre 1955, 1977 et 1990.

Lorsqu'on utilise des photographies aériennes, il est très important de veiller à leur restitution photogrammétrique (restitution des dimensions réelles des objets photographiés). En cartographie, pour mieux exploiter les photographies aériennes, il est recommandé de travailler d'après des orthophotographies qui sont des « photographies aériennes sur lesquelles les déformations des images sont corrigées en transformant, par petites zones, la projection orthogonale avec modification continue du rapport d'échelle en fonction du relief » (PIERRE et VERGER, 1996). Cette image sera utilisée directement dans un SIG comme donnée continue après une mise en conformité géométrique. Ce traitement appelé orthorectification a pour but de présenter l'objet photographié dans sa réalité. Ces photos sont utilisées pour la visualisation 3 D et pour la saisie de l'occupation du sol. Cette méthode est essentielle vu les déformations dues au relief.

Les modèles matriciels, pour leur part, sont utilisés pour représenter des prises d'images aériennes rectifiées et recalées sur la base d'autres données géographiques telles que les cartes denses d'élévation du sol comme les modèles numériques de terrain M.N.T.. D'autre part, les MNT sont utilisés pour tout traitement nécessitant la prise en compte du relief. Les photos servent également à générer des données vectorielles par des techniques de reconnaissance de formes intégrant éventuellement des approches de fusion de données ou de classification.

6-Les étapes de redressement et les différentes caractéristiques des photos aériennes

Selon une approche géographique, la photographie aérienne est prise d'un aéroplane d'où l'on peut identifier des objets, des formes ainsi que des arrangements spatiaux et leurs relations. La technique employée consiste à photographier le terrain observé avec un recouvrement entre chaque cliché. Ainsi, le pourcentage de recouvrement longitudinal (proportion de la surface commune entre deux clichés) est de 60% et latéralement ; il varie de 20 à 30 %.

6-1-Présentation des clichés

Nous détenons soixante dix photographies aériennes réalisées par l'I.G.N., datant de 1955, 1977 et 1990 ce qui ne facilite pas l'interprétation. Les seuls renseignements disponibles pour 1977 et 1990 sont donnés dans le certificat de calibration (voir annexe : un exemple) et ne sont représentés que sur certains points dans le tableau suivant. Pour 1955, il n'y pas de calibration, nous ne disposons que de la focale et de l'échelle.

Tableau 16 : Caractéristiques des photographies aériennes utilisées

Photographies aériennes	Représentation	Altitude de vol au niveau du sol (m)	Focale Mm	Echelle	Date de calibration
1955	Noir et Blanc		124,451	1/25000	
1977	Noir et Blanc	900	152,752	1/20000	15/06
1999	Noir et Blanc	900	213,26	1/25000	17/04

Source : Certificat de calibration de l'IGN

Les clichés obtenus dépendent des conditions de prise de vue, de l'altitude, de la focale,... Comme il est impossible d'avoir, pour chacune des photographies aériennes étudiées, les mêmes caractéristiques, il est donc nécessaire de rectifier les clichés pour reproduire des documents photographiques homogènes afin de les géoréférencer dans l'espace. Pour ce faire, nous avons dû travailler avec un logiciel de redressement des images appelé « Er Mapper ». Les variations de l'échelle pour 1977 comparées aux deux autres missions peuvent être dues à des défauts de l'objectif de la caméra, à des écarts de l'axe optique de l'appareil, enfin aux variations de relief (elles sont dues essentiellement aux modifications d'altitude de l'avion).

« ER Mapper 6. 0 » est un logiciel de traitement d'images. Il permet de présenter toute une zone d'étude, initialement découpée en « n » secteurs, en un seul document. Ainsi, le document de synthèse est aussi précis que les « n » secteurs de base, offrant également la possibilité de faire ressortir le relief de façon réelle lors de l'étape du redressement.

Grâce à « Er Mapper 6.0 », il est possible de présenter des documents aussi complets et précis, tels qu'ils se rapprochent considérablement de ce que l'on peut observer sur le terrain, au niveau de la topographie, de l'orientation des pentes, de l'implantation de la végétation, de l'urbanisme ...

6-2-Redressement de photographies aériennes ; phénomènes de distorsion d'images

Le redressement d'une photographie aérienne consiste à corriger les déformations dues à la perspective ou au relief, en remplaçant chaque élément de l'image dans sa position géométrique exacte par rapport à un plan de projection. Après ce redressement, sont obtenues des orthophotographies dont toutes les déformations géométriques ont été préalablement corrigées. Ainsi la technique adoptée passe par les phases d'enregistrement et d'orthorectification pour chaque photographie.

En télédétection, il existe deux types de distorsions : la distorsion géométrique et radiométrique. Celle qui nous intéresse particulièrement est la distorsion géométrique, générée, entre autre, par les prises de vues aériennes. Chaque photographie est différente en fonction de l'angle de tangage de l'avion, des mouvements lors de la prise de vue et du relief en surface. Ce phénomène de distorsion est inéluctable ; c'est pour ces raisons que l'on a recours aux méthodes d'orthorectification.

En d'autres termes, un redressement (appelé aussi géoréférencement, géocodage ou rectification) de photographies aériennes correspond « à l'action de redresser géométriquement une image dans un référentiel cartographique. »

Le traitement des documents images consiste à manipuler des photographies aériennes, de la phase « scannérisation » à la phase « redressement » :

- 1- **scannérisation de chaque photographie** au même format «.Tif». Une fois numérisées, les photographies subissent les mêmes traitements que ceux développés pour l'imagerie spatiale ;
- 2- **importation des documents photos «.Tif»** (« Map info 6.0 ») et du MNT préalablement sous format «.grd» (surfer 7.0), sous « Er mapper 6.0 ». Cette opération consiste à les enregistrer sous format «.ers» ;
- 3- **redressement des photographies aériennes :**

Etape n° 1 : [START UP] il s'agit de choisir le fichier image «.ers» à traiter. Dans le cas où l'on utiliserait un MNT comme support, il faut choisir « orthorectify using ground control points », cette fonction étant la mieux adaptée pour les prises de vues aériennes.

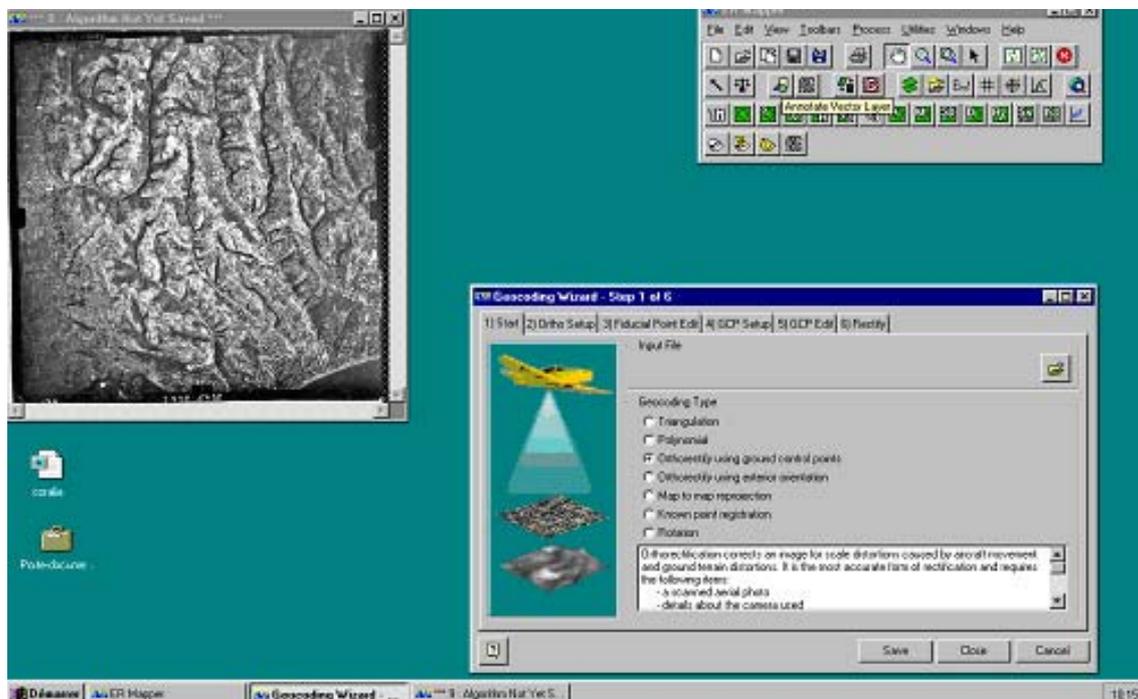


Fig. 32 : Première étape, insertion de la photo aérienne
N. HESSAS, 2001

Etape 2 : [ORTHO SETUP] il faut à présent choisir le MNT toujours en format «.ers» et également déterminer le type de caméra (qui correspondrait à la chambre focale de la prise de vue). Dans notre cas pour les photos de 1955 : une caméra quelconque et pour les photos de 1977 une caméra WILD RC8 n° 15 UAG 417 et celles de 1990 une caméra WILD RC10 n°21 NAG II 7113.

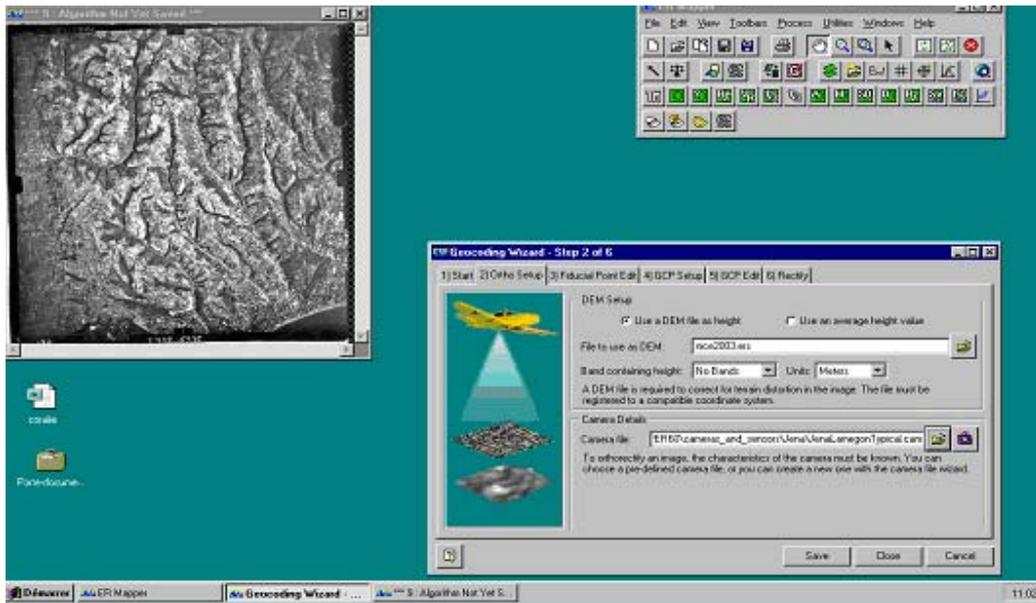


Fig. 33 : Entrée des caractéristiques de la photo et choix du mode de projection
N. HESSAS, 2001

Etape 3 : [FIDUCIAL POINT EDIT] cette étape sert à rentrer les 4 ou 8 points fiduciaux perceptibles sur les bords des photographies aériennes afin de les placer dans l'espace. Cela permet par la suite de positionner chaque photographie l'une par rapport à l'autre.

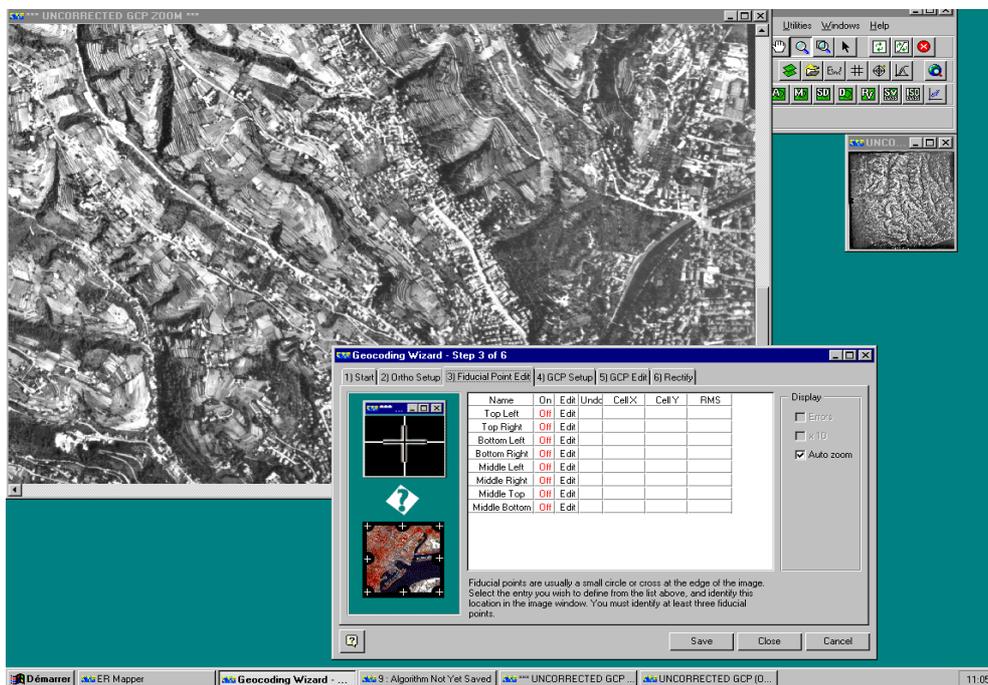


Fig. 34 : Positionnement de la photo dans l'espace
N. HESSAS, 2001

Etape 4 : [GCP SETUP] c'est une phase importante, car elle détermine les caractéristiques des documents à redresser:

« To geodatic datum »: WGS84;

« To geodatic projection »: Local;
« To coordinate Type»: Eastings/ Northings.

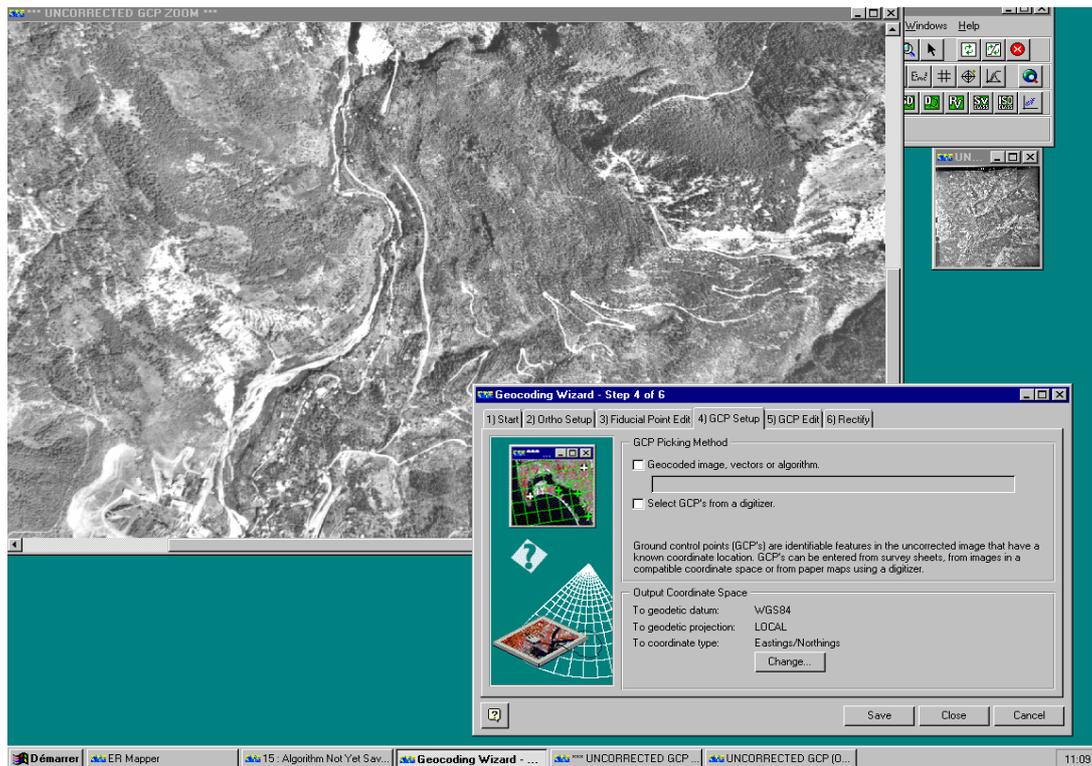


Fig. 35 : Introduction des coordonnées géographiques
N. HESSAS, 2001

Etape 5 : [GCP EDIT] c'est l'étape de placement des coordonnées (x, y) appelées points « amers ». Le principe consiste à placer au minimum vingt points sur l'ensemble de la photographie aérienne en insérant manuellement à chaque fois leurs coordonnées métriques. Ces points « amers » sont ensuite associés au fichier d'altitudes du MNT que l'on a préalablement importé sous « Er Mapper 6.0 ». Le logiciel peut alors interpoler les points « amers » avec les coordonnées du MNT, pour finalement en reproduire un document ayant les mêmes références dans l'espace que le MNT et la carte topographique. Le logiciel donne alors l'équivalent de ces coordonnées, afin de commencer le travail d'orthorectification. Les résidus doivent être très proches de zéro. Au cours de cette étape, l'altitude (Z) est calculée automatiquement en fonction du MNT.

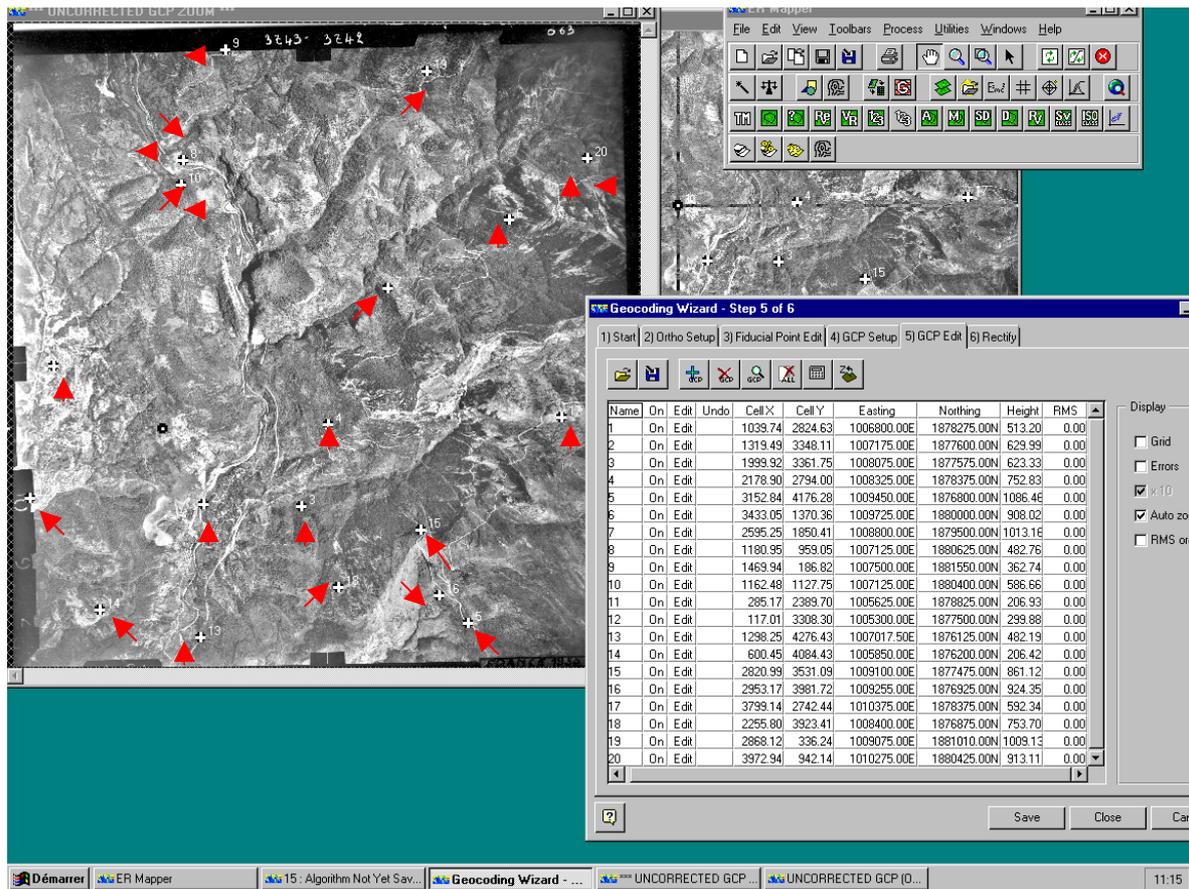


Fig. 36 : Positionnement des points amers, étape délicate

N. HESSAS, 2001

Pour bien réaliser des orthophotographies, il a fallu être précis dans le positionnement des points « amers » sur les documents. Ainsi, le fait de repérer sur les photographies aériennes les différents points choisis sur la carte a posé des problèmes de précision. Dans la plupart des cas, dans un souci de précision, nous avons choisi des points repères sur la carte topographique tels que des croisements de routes, des bâtiments publics, ... Nous avons retenu les objets, dont la forme et l'organisation spatiale permettent de localiser un point du référentiel, au niveau d'un pixel de l'image. Une bonne stabilité morphologique dans le temps est aussi indispensable pour comparer des données qui n'ont pas forcément été acquises à la même date. Le fait de vouloir les reporter sur la photographie aérienne a été, dans certain cas, très laborieux car selon les pixels de la photo, il est difficile de savoir où se situe exactement le point repéré préalablement sur la carte.

Par ailleurs le fait d'avoir numérisé chaque photographie aérienne indépendamment a pu occasionner des modifications dans la représentation des pixels. « Le pixel est un élément non défini sur le terrain » (KERKACHE, 1996). Ainsi, par exemple, sur deux photographies aériennes successives les mêmes pixels au sol ont pu être représentés de manière différente

selon la phase de scannérisation des images et donc entraînent des erreurs lors de la phase de disposition des points « amers ».

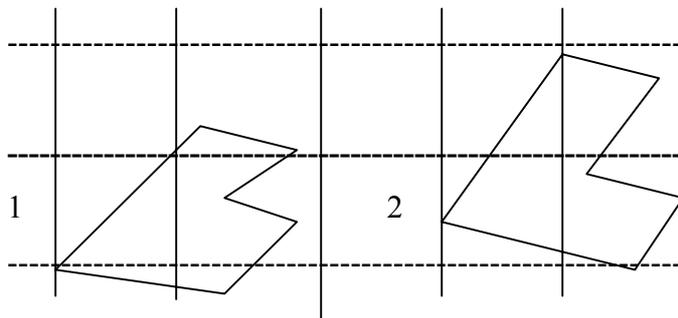


Fig. 37 : Erreurs générées dans le positionnement des points amers sur deux photographies successives
Source : KERKACHE, 1996

On remarque bien une différence de positionnement pour les points amers entre la photo 1 et 2, alors qu'ils sont issus de la même photographie aérienne. Malgré ce constat, nous avons pu analyser l'évolution du bassin versant du Paillon dans de bonnes conditions.

Etape 6 : [RECTIFY] c'est la phase de rectification de la photographie au terme de laquelle on obtient une photographie aux bords déformés (orthophotographie), avec une représentation du relief qui se rapproche sensiblement de la réalité.

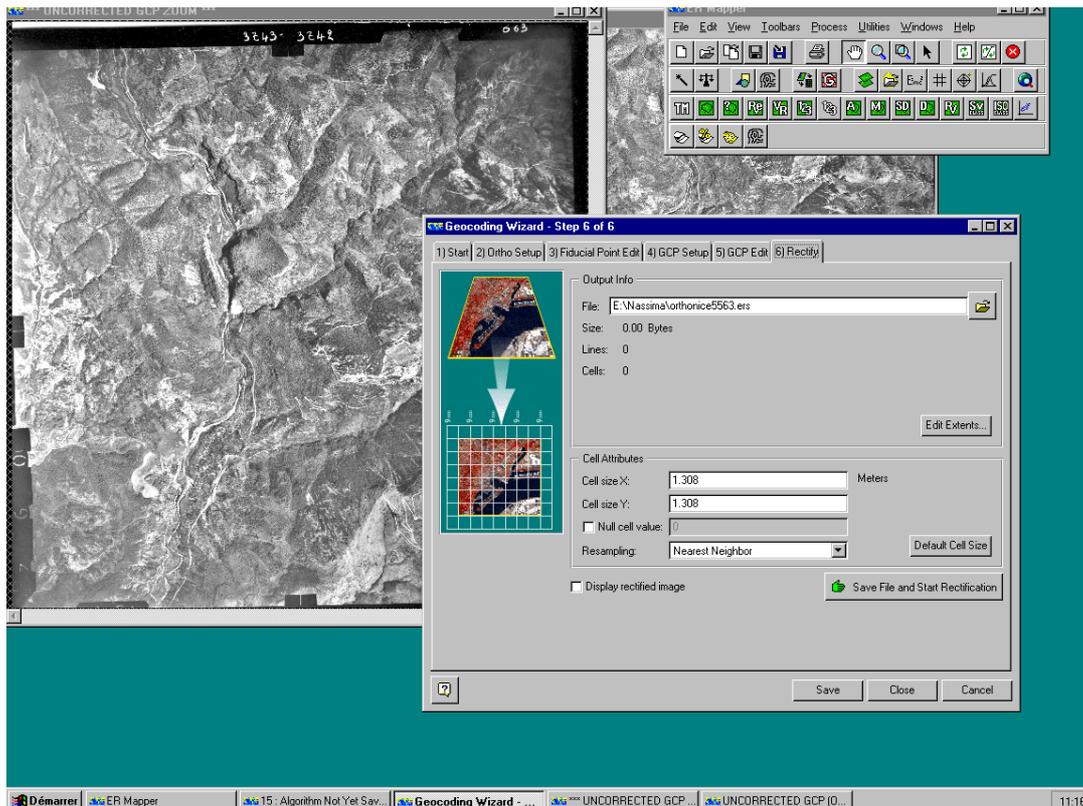


Fig. 38 : Dernière étape de rectification de la photo.
N. HESSAS, 2001

A l'issue des six étapes utilisées, nous avons donc obtenu des orthophotographies (où ortho-images) c'est-à-dire des photographies redressées en fonction des points « amers » et du fichier d'altitudes du MNT.

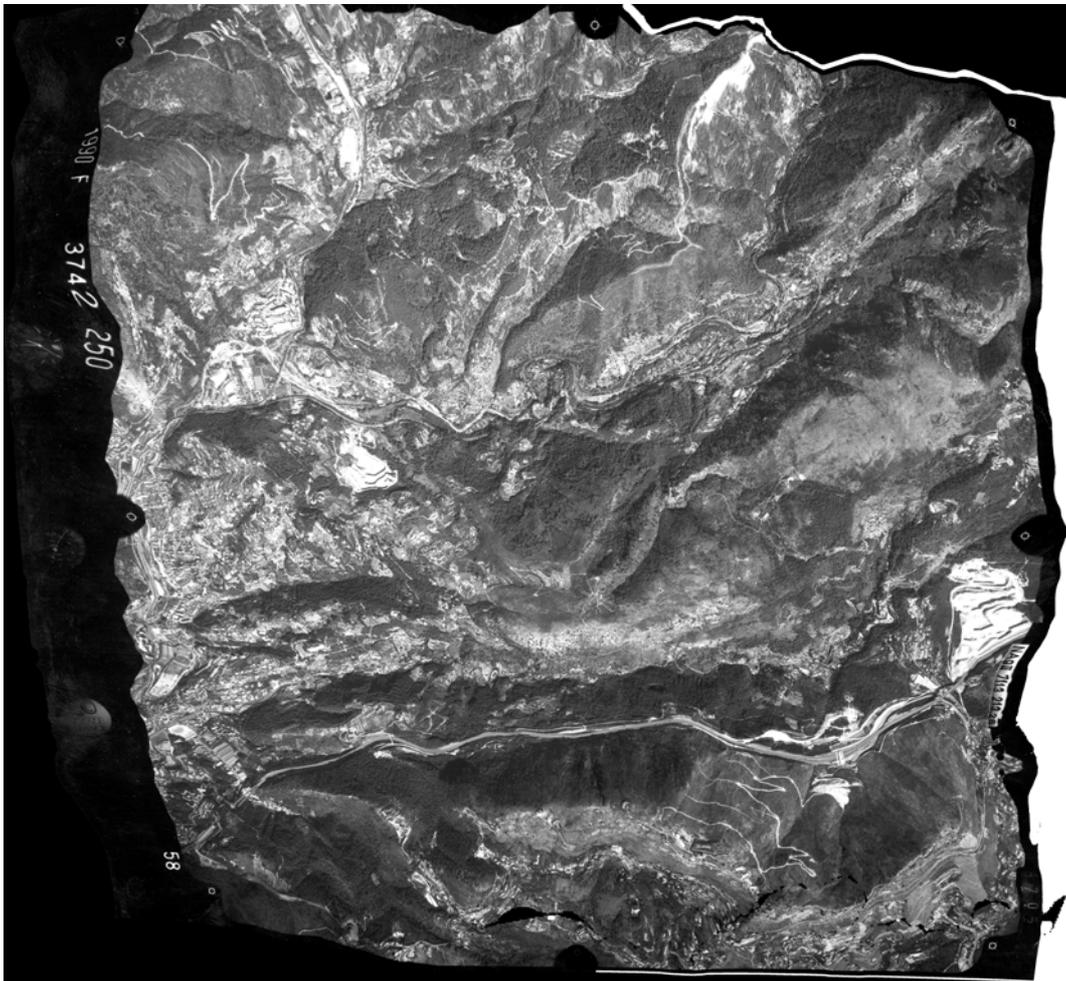


Fig. 39 : Modèle de photographie n° 58 de 1990, orthorectifiée

N. HESSAS, 2001

6-3-Assemblage des orthophotoplans : le mosaïquage

Dès lors il faut passer à l'assemblage de tous les clichés rectifiés ; c'est ce que l'on nomme le mosaïquage. Le principe est d'assembler plusieurs photographies entre elles, pour ne produire qu'un seul document photoplan ou orthophotoplan..

Ainsi, afin de créer une bonne mosaïque, il est essentiel que dans chaque partie commune des images, les points de contrôle requis aient les mêmes coordonnées, que les orthophotographies soient enregistrées à la même date, avec la même projection et qu'elles aient la même rotation par rapport au nord.

L'image obtenue pour chaque année étudiée, correspond à trois fichiers enregistrés sous TIFF. d'une taille de 725 Méga d'octets pour 1955, 1,03 GO pour 1977 et 327 MO pour 1990. Le temps pris pour obtenir ces transformations géométriques de 70 photos est de 3 mois et demi, la digitalisation 8 mois. Ces mosaïques sont plus riches en informations sur l'occupation du sol et les actions de l'homme que les cartes topographiques.

7-Etapes pour représenter cartographiquement chaque espace étudié

Le but est de dresser une typologie des biens et de la structure de la végétation (milieux agricoles, haie, forêt, ...), les zones d'activités économiques, d'habitations, agricoles, les espaces naturels, et les infrastructures. Afin de satisfaire à cet objectif, une démarche d'interprétation des images obtenues est nécessaire. Ces dernières représentent l'ensemble des informations reçues, à un instant donné, dans un champ de vision donné et avec une résolution définie par les caractéristiques du couple « capteur–vecteur ». Le jeu de cette partie est de donner à ces images, ce que toutes les cartes possèdent, la légende qui va correspondre à la thématique choisie. Il sera alors possible, au terme de cette étape, dans le bassin versant étudié, d'interroger la base de données, dont l'objectif principal est de savoir quelles ont été les évolutions principales entre 1955, 1977 et 1990, en terme d'augmentation de la surface de la végétation ou le contraire, de l'occupation du sol et des zones brûlées.

7-1-Géoréférencement

Cette étape est primordiale si l'on veut déboucher sur une étude diachronique. Il s'agit donc de caler sous « Map Info 6.0 » les trois documents mosaïqués aux mêmes projections (Systèmes Français Méridien de Paris- Lambert II) et aux mêmes unités (mètres), afin que les documents soient repérables dans l'espace et qu'ils aient les mêmes coordonnées.

Les images rectifiées sont transportées et calées sur Map Info. Le calage est un processus qui consiste à collecter des informations dans un système de coordonnées (latitude et longitude) de telle sorte que les nombreuses couches de données puissent être superposées et donner lieu à une analyse géographique exploitable.

7-2-Création de tables

Pour chaque variable, sous « Map info 6.0 », il faut créer des tables (couches d'informations). Ainsi, chacune d'entre elles est stockée sous une table distincte dont on peut ensuite modifier le contenu.

7-3-Digitalisation

Le travail est de trouver sur les photographies rectifiées et assemblées de 1955, 1977, 1990 les objets qui sont présents puis de les classer et d'étudier leur distribution et leur organisation avant de pouvoir comparer les trois années. Après calage, nous avons saisi, une à une, toutes les parcelles du secteur d'étude, digitalisé les routes, réseaux hydrologiques,....

Sur les photographies aériennes, l'œil détecte les éléments les plus contrastés. Ces contrastes peuvent être représentés par des lignes qui, pour la plupart, ne sont pas fermées. Elles ne délimitent pas les entités (GIRARD M. C. et GIRARD C. M., 1999). Dans ce cas, le choix de la représentation adéquate pour chaque donnée dépend de l'usage auquel elle est destinée mais aussi de l'information d'origine. Les entités discrètes telles que l'occupation des sols sont représentées par des objets polygonaux qui ne sont pas simples à définir, des lignes et des points. Ces objets géographiques sont reliés à des données attributaires qui nous les restituent selon un thème. Comme nous l'avons fait sur les photographies du Paillon, chaque parcelle est représentée graphiquement par un polygone possédant des données attributaires comme le numéro de la parcelle, le nom de l'objet (forêt, prairie, bâti, ...), la superficie, etc. Le travail effectué fut long et fastidieux. Pour produire des documents cartographiques exploitables, il a fallu passer par différentes étapes (décrites dans le paragraphe 8-1). Méthodologiquement, chaque variable a été quantifiée grâce au logiciel de cartographie « Map Info 6.0 ».

Grâce à la cartographie informatique, il est alors possible d'isoler les variables ayant joué un rôle important dans l'évolution du bassin versant. Ce travail de fond sera par la suite exploitable directement sur un écran, ou sous forme de document représentant des cartes, des graphiques, des histogrammes, agrémentés de commentaires.

8-Photo-interprétation : caractéristiques physiques et biologiques des objets

La télédétection, étude d'images aériennes et spatiales, est utilisée dans de nombreux domaines liés à la géographie. Elle peut être la base de la cartographie, notamment, pour l'étude de l'occupation du sol, pour les études préliminaires des tracés routiers, ...et apporte une aide précieuse pour évaluer les dégâts sur de grandes étendues dus aux incendies, au gel ou à la sécheresse,...La télédétection est très utilisée dans les études touchant l'environnement en général : agronomie, botanique, pédologie, géologie...C'est un outil de travail qui permet de confirmer des informations ; et d'apporter des données complémentaires ; cela reste cependant un complément d'informations, c'est un outil fait pour se croiser avec d'autres informations. Selon l'Encyclopédia universalis, la télédétection est « l'ensemble des techniques mises en œuvre à partir d'avions, de ballons, de satellites et qui ont pour but d'étudier, soit la surface de la Terre (ou d'autres planètes), soit l'atmosphère en utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques émises, réfléchies ou diffractées par différents corps observés ». Le journal officiel du 11 décembre 1980 la définit comme « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci ».

Les premières études lancées sur le thème de la télédétection et des incendies de végétation ont été développées en Amérique du nord. Aux Etats-Unis CATELLINO, 1978, KESSEL et CATTELINO, 1978, SANDFORD, 1986, STEARNS, 1986 et au Canada KOURTZ, 1977 et 1987, MURTHA, 1983 et SCOTT, 1978. Leurs travaux portent essentiellement sur les incendies dans la strate arborescente, en raison de l'ampleur de leur massif (THILLE, 1992).

WHITE et *al.* (1995), notent que l'acquisition sur le terrain est là encore réalisable à grande échelle. Pour des échelles plus petites, telles que régionales ou bien continentales, les données obtenues par télédétection ont contribué au développement des SIG dans le but d'analyser l'évolution de la couverture des sols au cours des dernières décennies. La photo-interprétation reste un moyen incontournable de télédétection. La généralisation de la télédétection pour l'observation de la terre a été permise par la multiplication des satellites. Ces derniers utilisés jusqu'à maintenant ont des capteurs détectant les rayonnements infrarouges et visibles. Ils permettent la détermination de l'occupation du sol aussi bien pour des études locales que globales (GOWWARD et *al.*, 1993 ; BELLUZO et *al.*, 1997).

De nouveaux capteurs et de nouvelles techniques comme la vision stéréoscopique sont en cours de développement. Ils améliorent progressivement le potentiel d'observation de la surface terrestre, notamment en s'affranchissant de l'obstacle des nuages. CHEN *et al.* (1985), précisent que si le potentiel des capteurs s'améliore d'année en année à l'occasion du lancement de nouvelles générations de satellites, la recherche de nouvelles techniques d'analyses d'images optimisées est également pour beaucoup responsable de l'amélioration de la qualité de la précision de l'information acquise. Notre méthodologie d'analyse des paysages incendiés ou non, basée sur la télédétection, va se diviser en plusieurs étapes, réalisées à partir de différents logiciels. La méthode la plus couramment utilisée pour intégrer l'information des photographies aériennes dans les SIG consiste à réaliser une photo-interprétation manuelle des images, puis à intégrer celle-ci dans le SIG par numérisation. Les images reproduisent d'une manière impartiale la surface du sol à un moment donné ; elles permettent « d'explorer une portion du spectre électromagnétique plus vaste que la seule fraction visible à l'œil humain » (BAKIS, 2000).

8-1-Présentation des variables : Interprétation visuelle et sur écran des photographies et des images

Ces clichés sont réalisés en noir et blanc, d'où la difficulté de bien discerner les différents types de terrains et de végétations. Le travail sur une orthophotographie en couleurs est plus aisé : les teintes que l'on retrouve sont celles de la « réalité. ». Les unités spatiales seront distinguées à partir des variations de textures et de tons grisés. Selon GIRARD M. C. et GIRARD C. M. (1999) la perception de l'œil diffère selon la coloration de l'image. L'œil perçoit, en noir et blanc, jusqu'à 16 niveaux de gris, ou grisés et un ordre de 10 000 couleurs. Il s'agit ici du nombre de niveaux qui peuvent être reconnus dans l'absolu, c'est-à-dire lorsqu'ils ne se jouxtent pas, mais sont éloignés les uns des autres. Le signal lumineux que l'œil perçoit, de par sa résolution, est de l'ordre de 0,1 mm. Le pixel fait 1 mm sur l'image observée et est donc détecté. Pour cette raison, on peut interpréter visuellement les images à des échelles allant du 1/100 000 au 1/50 000 sans être perturbé par le pixel qui joue un rôle analogue au grain du tirage photographique. Il faut être très attentif aux nuances de gris : chaque pixel est représenté par une teinte plus ou moins grisée : la forêt sera en gris très foncé, alors que les bâtis ou le réseau routier seront dans les tons gris plus clairs tirant vers le blanc. L'humidité de la végétation joue un rôle important dans la nuance de couleur

(les résineux et les feuillus n'ont pas la même couleur). L'interprétation visuelle sur écran ne présente pas d'inconvénients. La précision offerte par les photographies aériennes permet d'apprécier avec finesse les divers éléments du paysage : la résolution choisie, 50 cm au sol, fournit une information très précise : les éléments urbains sont parfaitement distincts au même titre que les arbres solitaires. La date de la prise de vue de vue permet d'avoir une idée assez proche de la réalité de l'état actuel des formations végétales. L'interaction rayonnement – matière est une des bases de l'interprétation des images de télédétection. Un objet, à un moment donné, dans une position géographique donnée, vu sous un angle donné et recevant un rayonnement donné, présente un comportement spectral qui lui est propre. D'après GIRARD M. C. et GIRARD C. M. (1999) certains auteurs ont utilisé le terme de signature spectrale. Ce terme est inapproprié car une signature laisse supposer qu'elle est constante ; or le comportement spectral varie suivant le temps, le lieu, le mode de saisie de l'information et du rayonnement incident. Le comportement spectral des objets est une voie privilégiée pour analyser et interpréter les images de télédétection, car il repose sur les lois physiques générales. Donc comme on le verra, il permet de présenter un modèle d'interprétation qui est généralisable dans un grand nombre de cas. L'utilité des photographies aériennes est donc réelle, même utilisées à l'état brut. La pertinence de la représentation est fortement accrue dès lors que l'on utilise l'analyse d'image.

L'interprétation des photographies aériennes se fait depuis des décennies dans la plupart des thématiques relevant de l'étude du milieu. La photographie aérienne est un document global et non spécifique (l'interprétation se fait en fonction de l'objectif visé, dans presque tous les cas, on a intérêt à analyser ces dernières pour les diverses thématiques, en ne retenant les seules intéressantes qu'en fin d'étude) sur lequel, on trouve toutes les thématiques imbriquées les unes aux autres, à une date et un moment donné. Ceci explique que lors de l'interprétation des trois mosaïques, avant d'arriver au but, tous les objets existants dans l'image sont étudiés même s'ils sont multiples, mais ils ramènent très souvent à quelques cas généraux : la végétation (et ce qui ressort de l'organique), les sols (et ce qui ressort des minéraux) et l'eau. Ces trois premiers aspects constituent l'essentiel des travaux portant sur l'observation de la terre. Pour mener correctement l'interprétation, la méthode la plus facile à appliquer consiste à aller du plus facile au plus complexe.

L'interprétation sur écran peut se faire directement quand on dispose d'un système informatique de traitement des images. Le logiciel Map info utilisé, a toutes les

fonctionnalités pour faciliter ce travail. Les limites des plages cartographiques sont alors dessinées directement sur l'écran. Il faut allier alors deux aspects différents : avoir la précision du pixel pour tracer les limites et garder en vue un champ de vision suffisamment grand pour pouvoir prendre les décisions. Pour cela il faut disposer d'un écran de travail le plus grand possible, et pouvoir avoir accès instantanément à un zoom.

Une fiche de description analytique globale des variables a été faite avant de commencer la digitalisation des objets et au fur et à mesure d'autres variables se sont ajoutées avec la familiarisation des images. Le bassin versant du Paillon est une vallée mixte. On y côtoie des zones typiquement urbaines, des zones forestières et des zones agricoles, la montagne et son relief, la vallée et sa morphologie. Ces différents ensembles composent des variables intéressantes à exploiter afin d'établir un bilan de l'évolution de l'ensemble du bassin versant. La digitalisation terminée, chaque variable représentée sous forme de polygone ou de ligne peut alors être qualifiée. Les données spatiales, constituées des unités paysagères pour les différentes années seront numérisées. Les étapes de création de la topologie et d'association des données descriptives vont nous permettre d'aboutir à l'obtention des couvertures (du milieu x 3 années) c'est-à-dire à la physionomie du sol du bassin versant du Paillon pour les années 1955, 1977, 1990. Chacune d'elle est associée à une table attributaire de polygones (contenant l'identifiant de chaque polygone, sa surface et son périmètre), à une table attributaire d'arcs (identifiant des arcs, longueurs). Voici donc la liste des variables étudiées, ponctuée chacune de sa définition. Le fait que l'on se situe dans une vallée de montagne intègre plusieurs éléments. Les variables caractérisant les diverses zones constituant le bassin versant étudié sont multiples.

8-1-1-Lignes et segments de droites

Ce sont les éléments les plus facilement détectés sur l'image.

8-1-1-1-Variables « routes »

Les routes, dans la plus part des cas issues de l'empreinte de l'homme sur le milieu. On analyse dans ce cas : la densité des lignes par unité de surface, la longueur des diverses lignes en fonction de leur forme (droite, courbe).



Fig. 40 : Exemple d'une partie des voies de communications digitalisées sur la mosaïque de 1999 du bassin versant du Paillon

N. HESSAS, 2004

8-1-1-2-Hydrographie : variable « eau »

Dans cette nouvelle couche, tout ce qui a trait à l'eau est dessiné. La forme rencontrée dans notre cas est linéaire, le cours d'eau nommé Paillon. Sa forme est sinueuse avec quelques méandres. Il existe quelques cours d'eau secondaires au chevelu de type arborescent et dont certains affluents n'ont qu'un écoulement temporaire.

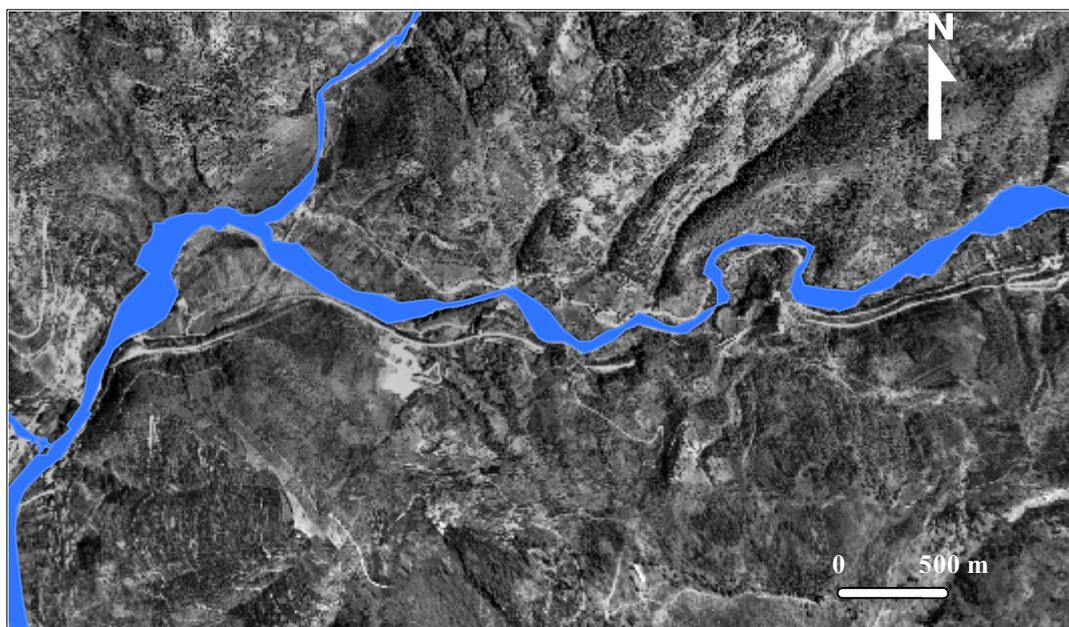


Fig. 41 : Exemple d'une partie du réseau hydrologique digitalisé sur la mosaïque de 1955 du bassin versant du Paillon.

N. HESSAS, 2004

8-1-2-Surfaces fermées

Une autre phase de décryptage de la photographie consiste en la délimitation des surfaces fermées, les plages cartographiques (unité graphique ayant un contour fermé et ayant un contenu sémantique localisé et supposé homogène à un niveau de probabilité déterminé) auxquelles on attache un objet. Cette phase est différente des lignes ou des points car on dessine des polygones et il y a une construction du thème, par itération entre le graphique et la sémantique. Le dessin des limites conduit à définir un objet : on passe du contenant au contenu, et l'objet permet de définir telle limite. Les inconvénients de cette phase sont que les capacités de l'interprète doivent être de plus en plus grandes et jouent un rôle important. L'interprète doit extérioriser toute sa spécificité et être capable de définir les modèles sémantiques et spatiaux qu'il met en œuvre.

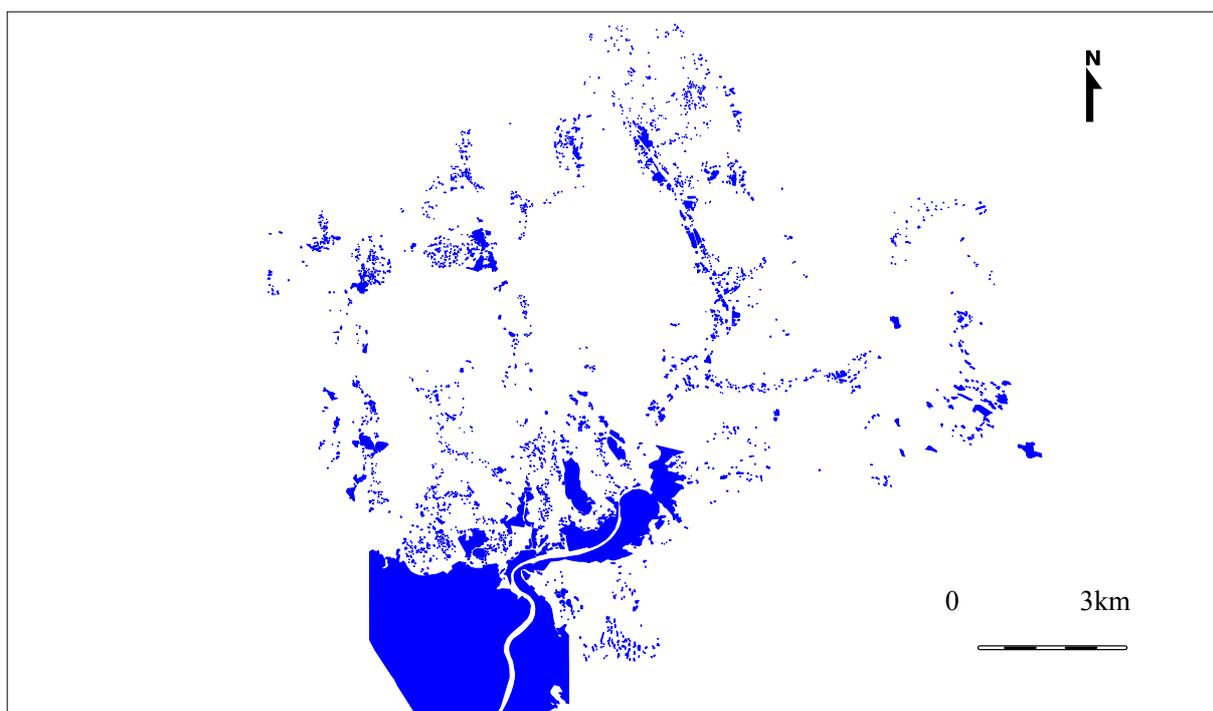


Fig. 42 : Habitats, exemple d'une représentation fermée.

N. HESSAS, 2004

L'analyse des parcelles est représentée par des typologies basées sur des critères de taille, de forme et d'abondance.

- **La taille** : Map info permet de donner la taille en mètre, cela se calcule sur une image dont on connaît la résolution.

- **La forme** : plusieurs formes sont observées. On n'a pas distingué beaucoup de parcellaires ouverts ; ceci est dû à la limite de photo et des parcellaires fermés, exemple des haies, des forêts ou des milieux agricoles.

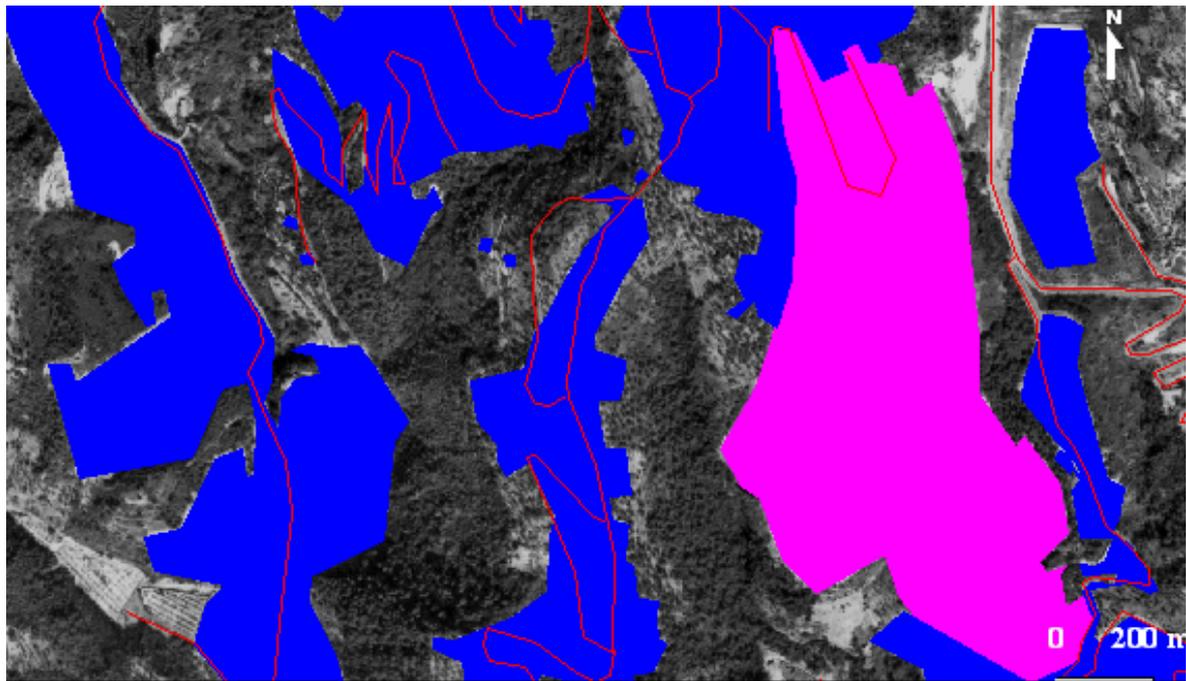
- **L'abondance** : la somme des surfaces de chaque type de parcelle est calculée pour chaque mosaïque afin de pouvoir évaluer l'évolution pendant les années écoulées et d'estimer aussi un ensemble plus vaste qui est le paysage, l'unité de paysage ou l'élément de paysage.

- **Structure** : permet de mieux comprendre les relations, soit entre les divers éléments de paysage et le milieu, soit entre le milieu et son utilisation par l'homme. Les parcellaires des forêts sont intégrés avec celui des parcelles agricoles et ainsi de suite.

De simples requêtes portant sur les informations contenues dans ces différentes tables vont nous permettre le calcul des surfaces de différents faciès. Les variables étudiées, tels que les espaces anthropisés en 1955, 1977 et en 1990, sont plus ou moins superposables permettant ainsi la comparaison et l'estimation de leurs taux d'augmentations respectifs. Plusieurs catégories d'occupation du sol vont être considérées, chacune d'entre elles comme représentant une unité paysagère. L'intérêt du SIG, comme nous le montrons ici, est de faciliter considérablement ce type d'analyse statistique, et de fournir des chiffres précis. Nous avons pu analyser chaque variable, pour en extraire les facteurs les plus déterminants dans le processus d'évolution du bassin versant. Les SIG facilitent grandement les comparaisons. Il devient aussi possible d'établir des modèles d'interprétation et d'analyser les résultats dans le domaine spatial en même temps que dans le domaine sémantique.

8-1-2-1-Variable « espace urbanisé »

Quantification du bâti et de toutes les structures construites (bâtiments, routes, structures sportives, cimetières...), en bref, tout ce qui est représenté dans l'espace périurbain. Cette couche d'information a été créée, en mettant un point sur chaque élément de type ponctuel telles que les habitations et les constructions.



Cimetière ■ Habitations ■ Routes —

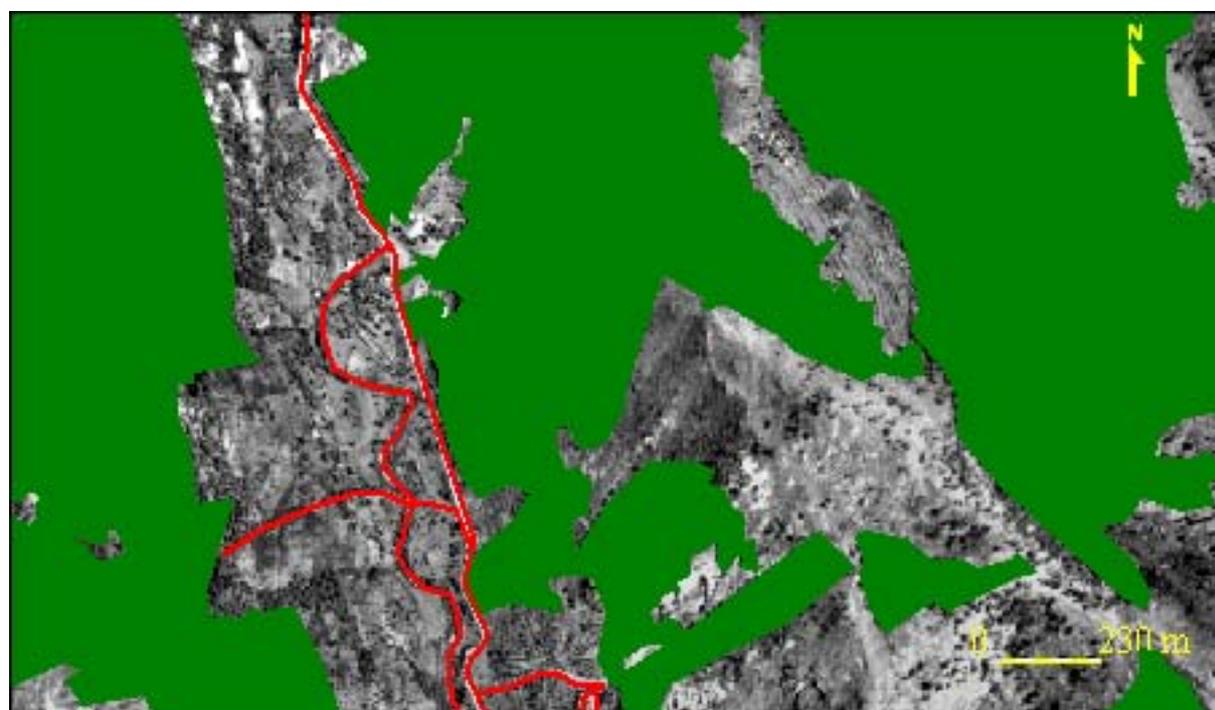
Fig. 43 : Variable espace urbanisé et superposition de couches « bâtis et routes », mosaïque de 1990

N. HESSAS, 2003

8-1-2-2-Variable « végétation arborée et arbustive »

Quantification des espaces forestiers, de la végétation arbustive et arbustes (feuillus, résineux) et des haies. La forêt est « un espace étendu couvert d'arbres en formations serrées

et généralement fermé. La forêt où l'homme n'est pas intervenu est dite forêt vierge [...]; celle qui a reconquis un espace défriché ou brûlé [...] est dite forêt secondaire.» (GEORGES et VERGER, 1996).



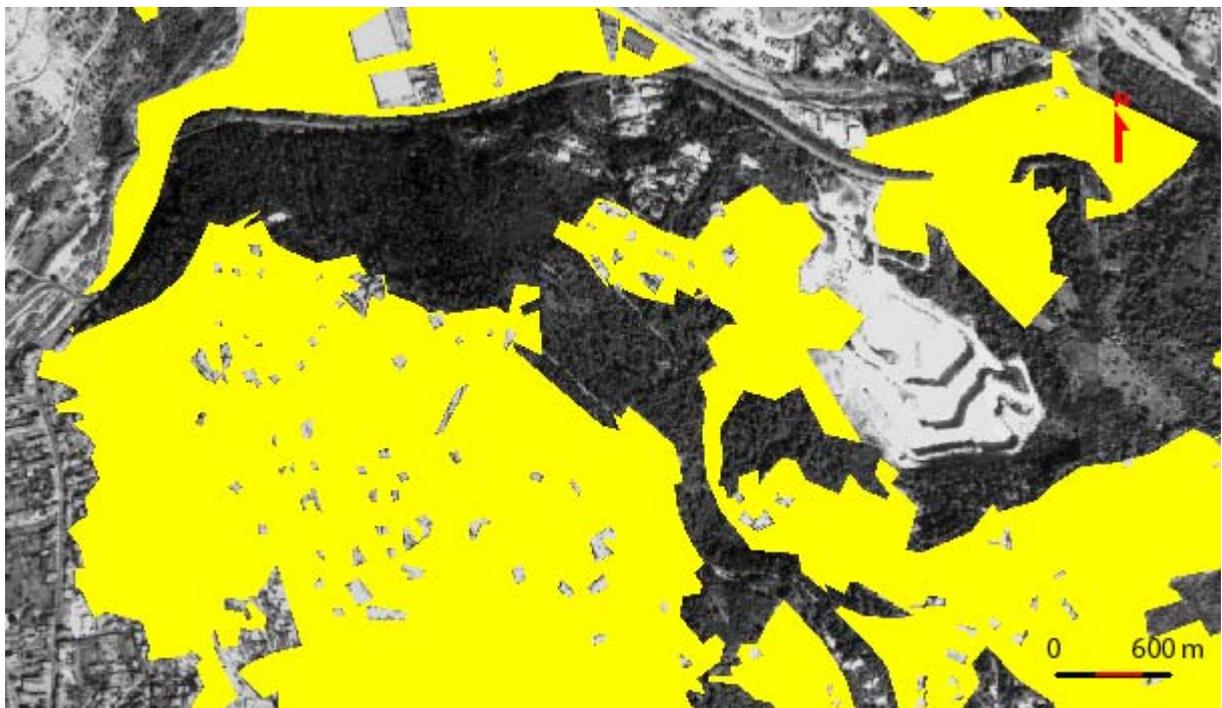
■ Végétations arbustives et arbustes

Fig. 44 : Digitalisation des variables regroupant forêt, haies, ..., mosaïque 1955.

N. HESSAS, 2003

8-1-2-3-Variable «cultivées et herbacées»

Quantification des parcelles cultivées et / ou en friches, des zones de plantations et des prairies.



■ Milieux cultivés

Fig. 45 : Les milieux cultivés et herbacés digitalisés sur la mosaïque de 1990.
N. HESSAS, 2003

8-1-2-4-Variable « feu» et « reprise de la végétation après incendie »

Afin d'étudier les conséquences écologiques des incendies, un préalable indispensable est la cartographie des surfaces brûlées et une identification sur la mosaïque de la reprise de la végétation après incendie. L'étude porte principalement sur un écart important d'années qui suivent l'incendie (une vingtaine); ces années sont capitales, car c'est pendant cette période que la végétation se reconstitue. Généralement la végétation commence à s'installer après cinq ans. Nous allons essayer de localiser et de choisir les emplacements des placettes et de les étudier grâce aux informations recueillies lors de l'exploitation des rapports d'incendies établis depuis 1955. Ce travail va nous permettre de dresser une carte des zones incendiées dans le bassin versant du Paillon.

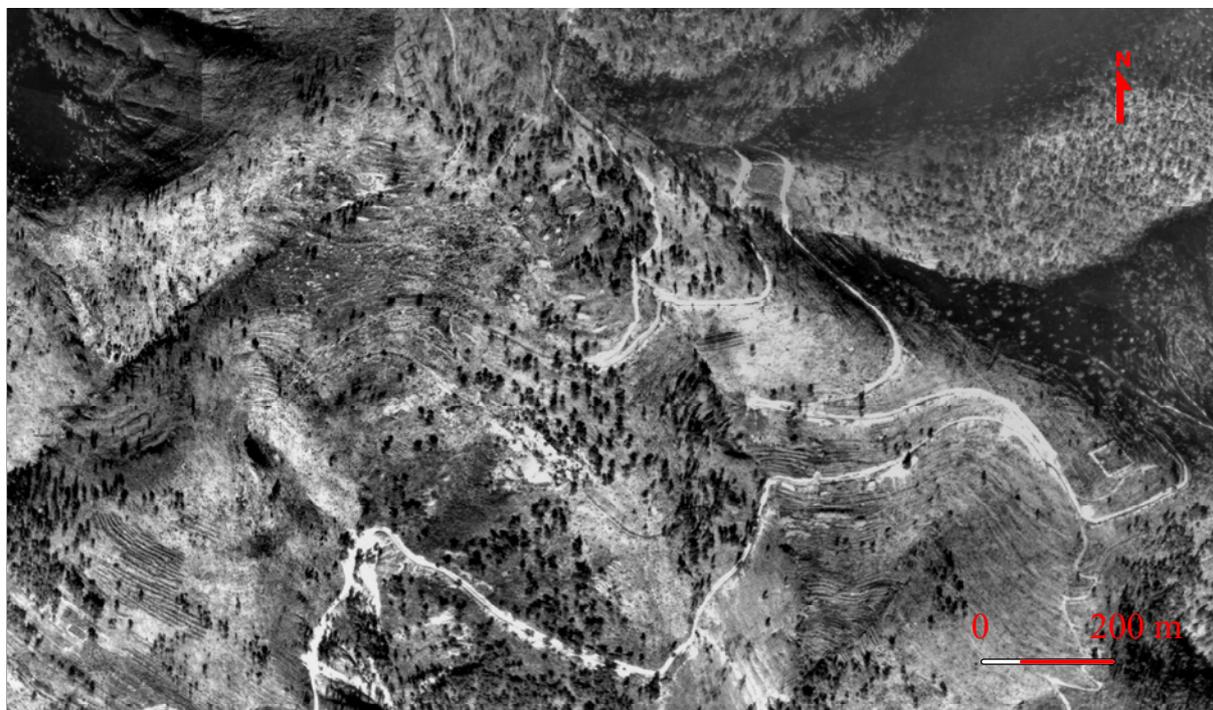


Fig. 46 : Détection d'un milieu incendié, mosaïque, 1977.

N. HESSAS, 2003

9-Traitement et analyse de l'image satellitale Spot 2

Chaque jour, la terre est observée par un nombre croissant de satellites, qui peuvent donner des informations utiles pour l'étude des feux de végétation, leurs effets sur l'écologie, le climat et sur la chimie de l'atmosphère. La télédétection spatiale est le seul moyen capable de fournir avec une répétitivité et à une échelle de temps compatible, les données nécessaires pour l'identification et la distribution des feux, ainsi que les paramètres qui leur sont liés : état de la végétation, surfaces brûlées, panaches de fumées, etc...

9-1-Rappel rapide du mode d'acquisition de l'image Spot et de ses caractéristiques

Il s'agit d'une image prise le 08 / 09 / 2002 à 10 h 35 mn 34 s sur une trace au sol de 60 Km x 60 Km de côté par SPOT 2 (lancé en janvier 1990). L'énergie réfléchiée par cette bande au sol est enregistrée par une barrette de 3 000 capteurs à photodiodes en mode multispectral, ce qui amène le point analysé au sol ou pixel à une résolution de 20 m x 20m. La réflectance de chaque pixel est traduite en 3 valeurs (puisque'il y a 3 canaux) radiométriques codées en valeurs numériques de 0 à 255, puis transmises à des stations au sol qui les codent après correction en fausses couleurs (Bleu, Vert, Rouge par exemple, en synthèse additive des couleurs; Jaune, Magenta et Cyan en synthèse soustractive des couleurs).

L'analyse de l'image retenue pour l'étude des incendies, se fait en mode multispectral à partir des trois canaux du satellite radiométriquement indépendants :

- le canal XS1, de 500 à 590 nm correspond au vert visible,
- le canal XS2, de 610 à 680 nm correspond au rouge visible,
- le canal XS3, de 780 à 890 nm correspond au proche infra rouge.

Chaque instrument de mesure embarqué à bord du satellite produit un ruban continu d'images, de largeur comprise entre 60 et 81 Km sur terre, selon l'inclinaison de la prise de vue, qui est divisée en scène de 60 Km de longueur. La prise de vue d'une image peut être en visée oblique ou en visée verticale, grâce au jeu de miroirs orientables. L'angle d'incidence est de $0,9^\circ$ ceci est très important, l'absence d'ombre dans l'image aidant à l'interprétation.

Le cycle orbital du satellite correspond à la durée séparant deux passages au-dessus d'un même point, en visée verticale. Pour les satellites SPOT il est de 26 jours, la trajectoire du satellite autour de la terre doit présenter des caractéristiques de constance et de synchronisme afin que les images produites à différentes époques soient comparables. L'orbite est héliosynchrone (le satellite survole un même point toujours à la même heure solaire locale) à une altitude de 830 km. En 24 heures, le satellite effectue un peu plus de 14 rotations autour de la terre.

Après l'enregistrement de l'image par le satellite, celle-ci est envoyée vers une station de réception afin d'être référencée sur une base de données puis traitée à la demande.

Tableau 17 : Caractéristiques de l'image 054262_0 Spot

Satellite	Spot
Capteur	HRV1
Niveau traitement	Ortho.
Date	08 / 09 / 2001
Image time	10h35mn34 s.
Mission 001	Spot 2, Geospot 4
Incidence angle	0,90 DEG
Cordonnées	X max. : 952560,00 M Y max. : 1898580,00 M
L'image d'origine (1 ^{ère} ligne et 1 ^{ère} colonne)	0
Azimut et élévation	158,6
Nombre de bandes	3 bandes : R (3) G (2) B (1)
Nombre de colonnes	3558
Nombre de lignes	3397
Type de canaux	X
Type de projection	Lambert II étendu
Résolution de l'image (mètres)	20 x 20
Ellipsoïde de référence	Clarke 1880 IGN/RIG ELG010
Système géodésique	N.T.F

Source : IGN, 2002

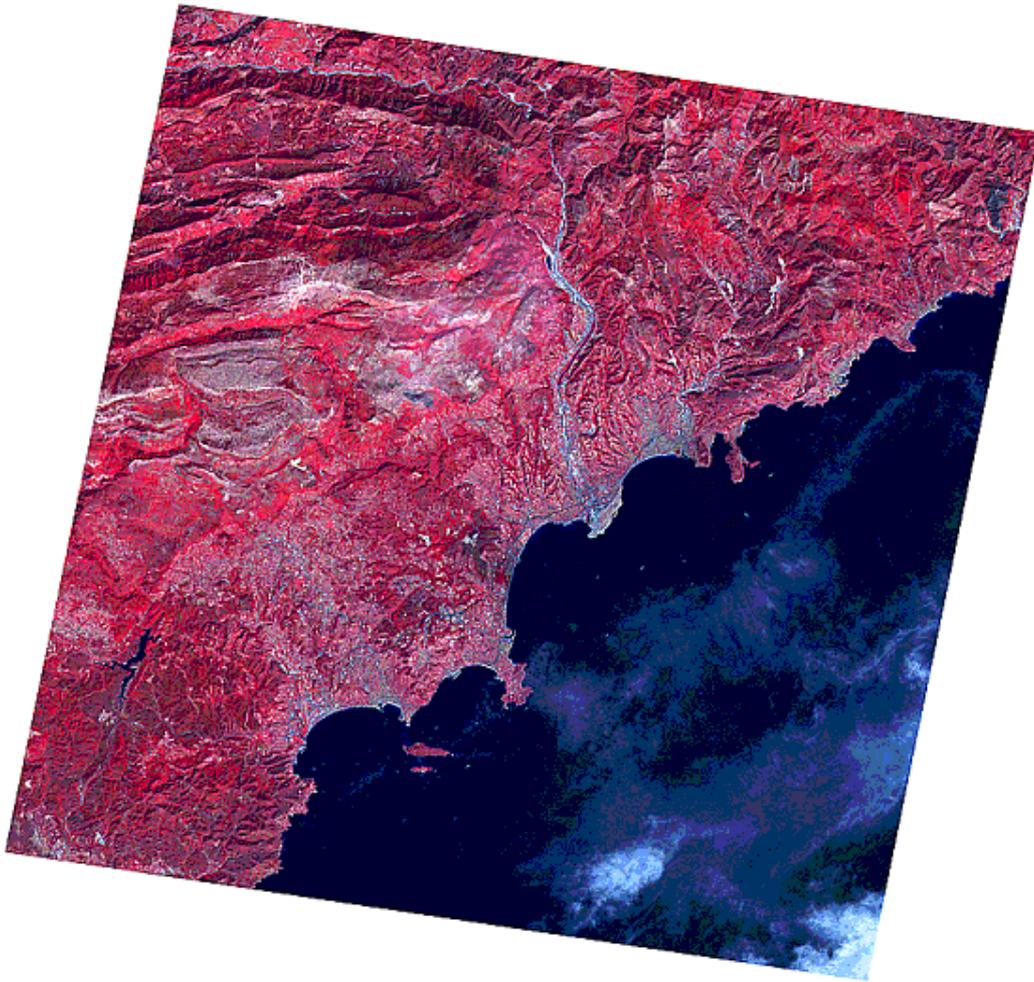


Fig. 47 : Image satellite Spot 2, orthorectifiée par l'IGN, 60 km x 60 km.
Source : IGN, 2002

En effet, l'image a pu enregistrer la réflectance, rapport entre l'énergie incidente et l'énergie réfléchie » (ROBIN, 2000). Elle s'exprime en Watts par kilomètre carré ou en pourcentage (énergie renvoyée / énergie incidente). Chaque portion du spectre électromagnétique est définie par la répartition des fréquences et des longueurs d'ondes. Le comportement spectral des végétaux est variable selon le degré d'organisation de la végétation, un peuplement monospécifique n'aura pas la même réponse spectrale qu'un peuplement plurispécifique. De manière similaire, un individu appartenant à une espèce donnée, pris isolément, aura une réponse spectrale différente d'une population homogène, d'espèces identiques. Ce paragraphe s'attache à décrire de manière générale, le comportement spectral des végétaux dans le visible et le proche infra rouge, ces longueurs d'ondes correspondant aux canaux XS1 et XS3 du satellite SPOT :

- dans le visible, de 380 à 700 nm : cette portion du spectre est dépendante de la composition en pigments des végétaux et notamment de la teneur en pigments chlorophylliens. L'intervalle spectral présentant un maximum d'absorption due à la présence de chlorophylle est précisément compris entre 600 et 700 nm (MARIETTE, 1981 in THILLE, 1992) ;

- dans le proche infra rouge, de 750 à 1300 nm : ce n'est plus la présence de pigments qui conditionne le comportement, mais plutôt la structure interne du feuillage.

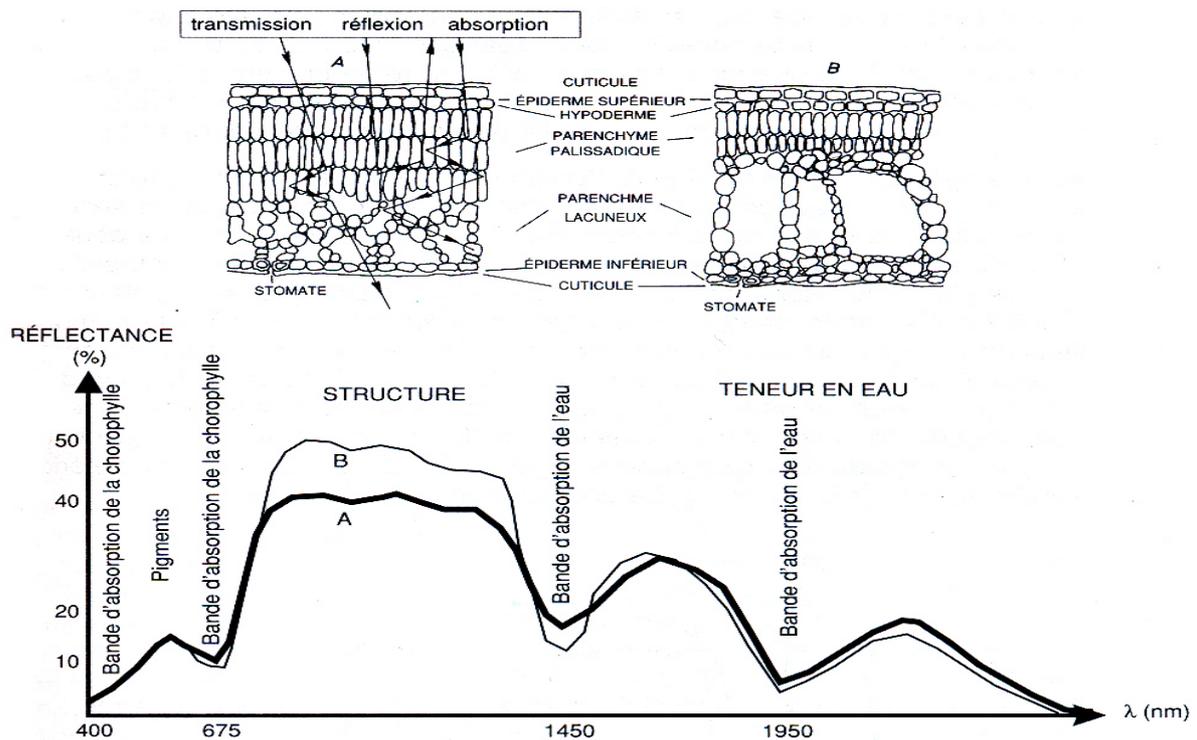


Fig. 48 : Influence de la structure interne des feuilles sur le comportement spectral.

Source : M.C. GIRARD et C.M GIRARD, 1999

La présence de cuticule sur la face supérieure des végétaux entraîne une possibilité de réflexion du rayonnement solaire. La réflexion est due de manière plus spécifique à un tissu : le parenchyme lacuneux dont l'organisation des cellules en sphères, conduit à une réflexion dans le proche infrarouge. Les ondes non réfléchies sont soit absorbées, soit transmises dans les tissus. Dès que les feuilles d'un végétal se dessèchent ou se nécrosent, le parenchyme lacuneux perd sa structure et les possibilités de réflexion sont perturbées. Le comportement spectral des végétaux chlorophylliens est suffisamment particulier pour permettre une reconnaissance et une distinction aisée des autres objets au sol, à condition qu'ils recouvrent au moins 30% de l'aire d'un pixel (M.C. GIRARD et C.M GIRARD, 1999).

L'étude radiométrique se joue ainsi sur les différences de réflectance et de luminance créées par la photosynthèse des plantes et leur contenance en eau. La réflectance quasi nulle de l'eau dans le rayonnement infrarouge permet de dissocier les formations végétales humides des formations sèches : l'utilisation de l'image satellite paraît un formidable outil d'exploitation pour l'identification des zones sèches. Selon KARLIKOWSKI et al. (1997) en l'absence de nuages, on utilise des images satellites pour confirmer les prévisions du risque incendie. Les images satellites sont utilisées pour calculer la température radiative, l'évapotranspiration et les indices de végétation décrivant les modifications des caractéristiques spectrales des forêts en fonction des paramètres du sol ou des données météorologiques caractérisant l'inflammabilité des peuplements forestiers.

9-2-Traitement des données à but cartographique : classification et Analyse en Composantes Principales ACP

Le but est de réaliser une cartographie de la végétation. L'outil télédétection numérique vient ici assister les recherches sur les connaissances de la végétation et nous permettre d'estimer les superficies des différentes essences en fonction de la structure et des surfaces brûlées. Cette image permet de travailler sur la réflectance induite par la photosynthèse des plantes. On travaille en réalité sur le rayonnement électromagnétique ; on enregistre une énergie.

9-2-1-Aperçu et choix d'utilisation d'une des méthodes de classification

La classification numérique des images utilise l'information spectrale contenue dans les valeurs d'une ou de plusieurs bandes spectrales pour définir chaque pixel individuellement. Ce type de classification est appelé reconnaissance de regroupements spectraux. L'approche consiste à assigner une classe particulière ou thème (par exemple : forêt de résineux ou feuillus, différentes cultures, eau, etc.) à chacun des pixels d'une image. La nouvelle image qui représente la classification est composée d'une mosaïque de pixels qui appartiennent chacun à un thème particulier. Cette image est essentiellement une représentation thématique de l'image originale. Lorsqu'on parle de classes, il faut faire la distinction entre les classes d'information et les classes spectrales.

Les classes d'informations sont des catégories d'intérêts que l'analyse tente d'identifier dans les images, comme différents types de cultures, de forêts ou d'espèces d'arbres, différents types de caractéristiques géologiques ou de roches, etc.

Les classes spectrales sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques (ou presque) en ce qui a trait à leur valeur d'intensité dans les différentes bandes spectrales des données.

La classification permet de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'informations. Il est rare qu'une correspondance parfaite soit possible entre ces deux types de classes.

Des classes spectrales bien définies peuvent apparaître parfois sans qu'elles correspondent nécessairement à des classes d'informations intéressantes pour l'analyse. D'un autre côté, une classe d'informations très large (par exemple la forêt) peut contenir plusieurs sous classes spectrales avec des variations définies (causées par exemple par des variations dans l'âge, l'espèce, la densité des arbres ou simplement par les effets d'ombrage).

Il existe deux types de classifications des images de télédétection :

- **les classifications non supervisées ou non assistées**, où l'on détermine un nombre de classes. Le logiciel calcule et crée automatiquement une carte en fonction de ce nombre de classes choisies. Par définition, ce sont « les méthodes pour lesquelles on recherche une partition des données en fonction de leur propre structure. L'interprète ne donne pas les informations à priori sur les objets qu'il veut définir. Cependant, il intervient quand même en choisissant, le nombre de groupes ou classes » (GIRARD M.C. et GIRARD C.M., 1999).
- **Les classifications supervisées ou assistées**, où le choix des régions d'apprentissage n'est pas aléatoire, elles offrent à l'utilisateur la possibilité de déterminer le nombre et la nature des classes d'occupation du sol qu'il souhaite individualiser ; toujours en fonction de la problématique du travail.

Le choix s'est dirigé vers l'utilisation de la classification supervisée d'images avec la fonction du maximum de vraisemblance. Cette fonction standard permet de classer le maximum de pixels de l'image. La classification par maximum de vraisemblance a pour définition « l'affectation des pixels aux échantillons les plus proches selon une distance dite

bayésienne. Cette distance est basée sur la probabilité qu'a un pixel d'appartenir à une classe donnée. Elle est calculée entre le pixel à classer et chaque parcelle d'entraînement » (ROBIN, 1995).

En effet, l'algorithme du maximum de vraisemblance prend en considération la covariance des classes spectrales lors de l'affectation des pixels. Il définit des contours de forme ellipsoïdale dans l'espace radiométrique qui maximisent les chances de bonne classification.

Le critère de décision est, pour cette méthode, la plus grande probabilité qu'a un pixel d'appartenir à une classe. Ainsi, la probabilité conditionnelle qu'un pixel appartienne à chacune des classes est calculée. Le pixel est ensuite assigné à la classe pour laquelle la probabilité d'appartenance est la plus élevée.

9-2-2-Méthode de création des cartes d'occupation du sol par classification supervisée avec le logiciel Idrisi

Le logiciel Idrisi, version Windows, a été utilisé pour cette partie. Idrisi pour Windows est avant tout un système d'analyse des données cartographiées et des données obtenues par télédétection, plutôt qu'un système de construction de cartes en soi. Toutefois, l'analyse visuelle est une part importante de toute analyse géographique. En outre, la nécessité de produire des cartes de qualité satisfaisante aux fins d'illustration est très importante. En conséquence, Idrisi, version Windows, offre un système complet permettant l'affichage visuel et la composition de couches d'informations en cartes finalisées.

L'image importée sous Idrisi a été préalablement enregistrée sous format BIL « bandes entrelacées par lignes » (Band Interleaved by Line). L'image SPOT (fichier BIL) est accompagnée des fichiers complémentaires habituels (telles que ressources d'extensions HDR, RSC et REP) qui accompagnent les Spotviews. Ces fichiers nous ont permis de tirer toutes les informations concernant l'image (voir tableau 15). L'import a nécessité l'utilisation de la fonction BILIDRISI qui a transformé le format BIL en une série d'images (bandes séquentielles - BSQ) correspondant au format utilisé par Idrisi sous Windows et a provoqué le passage à une image codée en 8 bits, participant ainsi à une première perte d'information conséquente par rapport aux différentes valeurs de réflectance de chaque élément photographié.

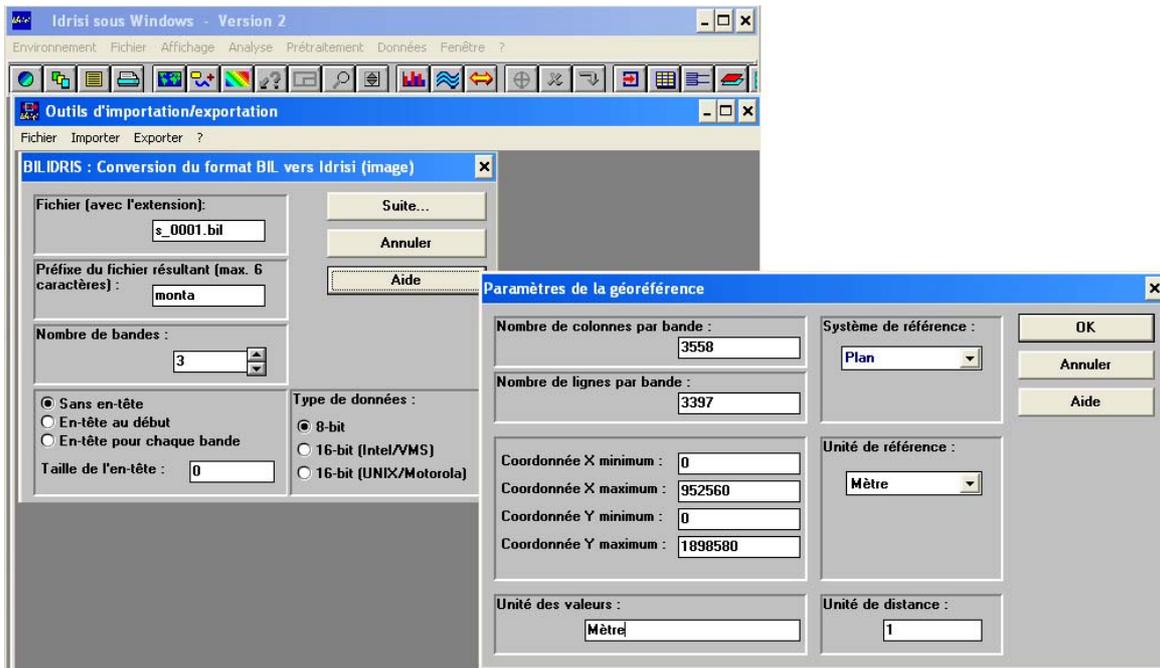


Fig. 49 : Importation et conversion du format BIL vers Idrisi (image)
N. HESSAS, 2004

Nous avons obtenu une image composite, affichant simultanément trois canaux (rouge, vert et bleu représentant respectivement les longueurs d'ondes des bandes vertes, rouges et infrarouges). Les trois grands points de la méthode de classification sont représentés et résumés dans la figure suivante :

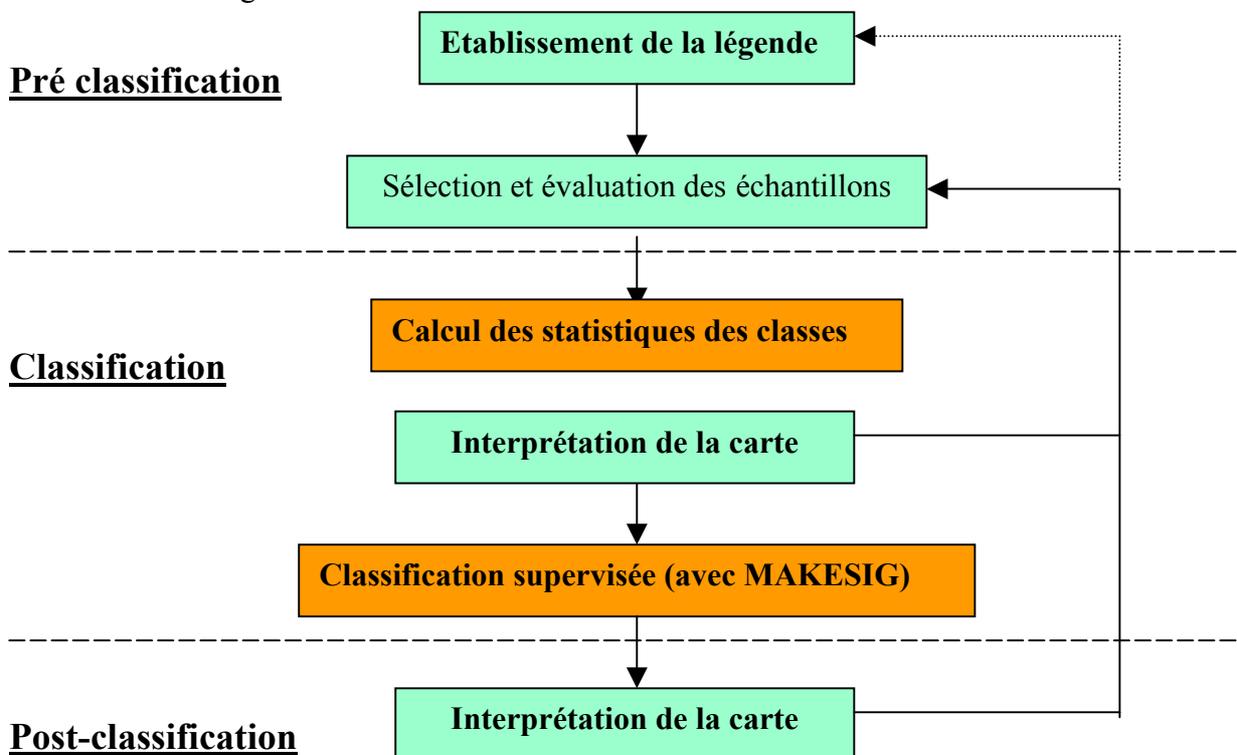


Fig. 50 : Principales opérations effectuées pour la réalisation d'une classification supervisée
N. HESSAS, 2004

Le cheminement est relativement complexe pour parvenir à un résultat satisfaisant. Il s'agit en effet de localiser les parcelles représentatives de chaque catégorie d'occupant du sol sur l'image. Donc définir le nombre et le type de classes à représenter sur la carte d'occupation du sol : cette première opération dépend à la fois de la problématique du travail et du pouvoir discriminant des images employées. On a choisi d'adopter la légende suivante qui comporte 6 classes :

Tableau 18 : Etablissement d'une légende avec description de chaque classe

Classe n°	Nom des échantillons	Description
1	Forêts	Forêts denses et moins denses
2	Zones incendiées	Tous types de milieux brûlés
3	Zones urbaines	Bâtis, zones industrielles et zones d'activités
4	Réseau routier	Routes nationales et départementales
5	Sols nus	Carrières
6	Eau	Lacs, rivières et mer

N. HESSAS, 2004

La prise des sites tests c'est-à-dire échantillons, encore appelés zones d'entraînement, où il s'agit de repérer sur l'image des portions de territoires caractéristiques des modes d'occupations du sol appropriés à notre étude. Ensuite, on procède à la vectorisation des polygones autour de chaque parcelle avec assignation d'un identifiant unique pour chaque classe d'occupation du sol. A chaque type peut correspondre une ou plusieurs parcelles. Après avoir choisi les sites tests, on doit afficher la composition colorée qui nous permet de discerner le maximum d'éléments de l'occupation du sol. 3 ou 4 échantillons par thème sont digitalisés.

Les échantillons doivent être le plus homogène possible ; ils ne doivent pas contenir de pixels à la limite de deux types d'occupation du sol, car il s'agit de mixels (pixels mixtes composés par les réflectances radiométriques de différents objets au sol). On est libre de définir autant que nécessaire, d'échantillons pour une classe. Cependant, il faut que chaque groupe d'échantillons (servant à décrire un mode d'occupation du sol) totalise un nombre de pixels égal à au moins 10 fois le nombre de canaux utilisés pour la classification (par exemple, pour 6 canaux, il faut au moins 60 pixels par classe).

- **Création d'un fichier de signatures spectrales**

Création d'un fichier de signatures spectrales pour chaque catégorie d'occupation du sol. Une fois le fichier vecteur comportant les sites créé, on lance la commande Définir signature depuis le menu Analyse / traitement d'image / Signature Spectrale en précisant les paramètres suivants : le nom et le type du fichier identifié, le nombre et le nom des bandes à traiter, ainsi qu'une chaîne de caractères pour chaque catégorie d'occupation du sol.

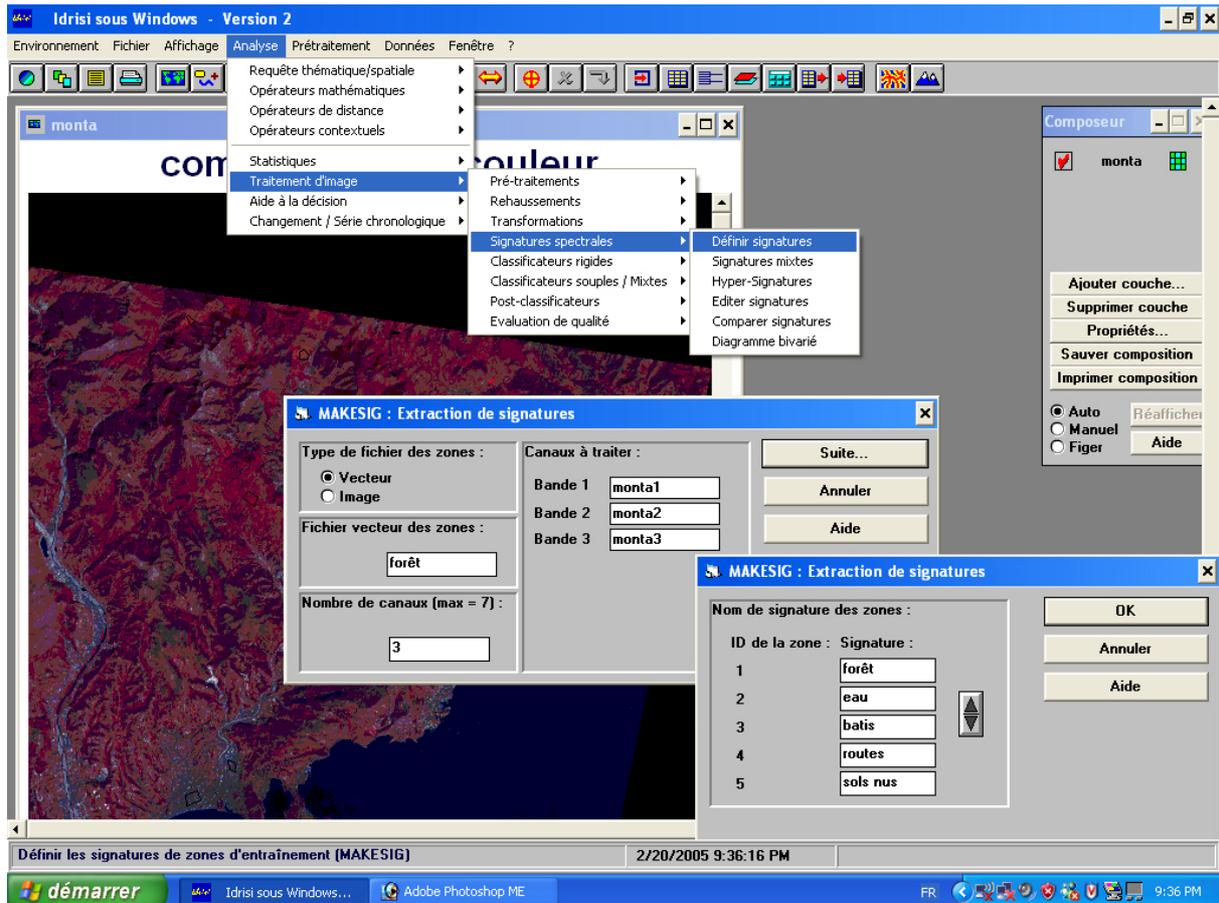


Fig. 51 : Extraction et définition de signatures spectrales

N. HESSAS, 2004

Il faut éviter les confusions spectrales, pour que les pixels de l'image initiale soient attribués aux différents modes d'occupation du sol auxquels ils appartiennent. Il est nécessaire que les groupes d'échantillons soient spectralement différents (c'est-à-dire qu'il faut que les valeurs radiométriques des échantillons correspondant à un mode d'occupation du sol soient différents des valeurs radiométriques des échantillons des autres modes d'occupation du sol).

- **Classification d'images numériques**

Il s'agit de classer l'ensemble des pixels de l'image en comparaison de la signature spectrale de chacun par rapport à celle du fichier des signatures témoins. Idrisi offre à l'utilisateur plusieurs méthodes de classifications. Comme déjà citée ci dessus pour cette étape on a choisi la méthode du maximum de vraisemblance qui s'appuie sur une fonction probabilistique des réflectances dans les sites identifiés préalablement.

Pour ce faire, on lance la méthode à partir du menu Analyse / Traitement d'image / Classifications Rigides en précisant le nombre de signatures à traiter et le nom du fichier résultant. A partir des valeurs radiométriques de pixels des différents échantillons, le logiciel va classer les pixels de l'image pour créer une carte d'occupation du sol couvrant toute la zone d'étude.

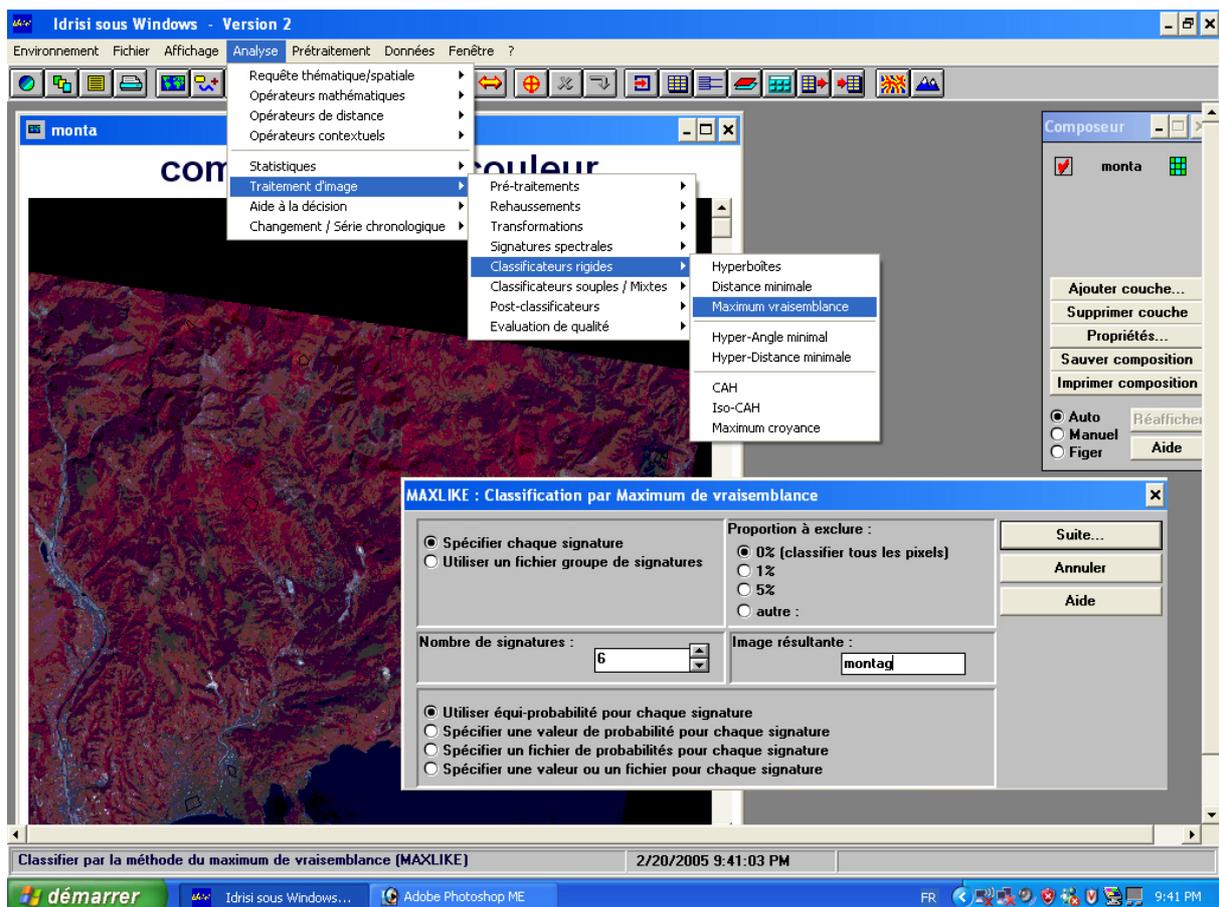


Fig. 52 : Classification de l'image par maximum de vraisemblance

N. HESSAS, 2004

Le résultat obtenu, présenté dans le chapitre suivant, nous permet d'avoir une idée de l'occupation du sol déterminant des zones sensibles aux incendies, l'évolution des milieux

incendiés et la propagation du feu. Néanmoins la connaissance du terrain d'étude ainsi que d'autres paramètres tels que les conditions climatiques en relation avec le stress hydrique de la végétation au moment de la prise de la vue peuvent s'avérer nécessaires pour une bonne interprétation de l'image résultante.

9-2-3-Principe, importance et but de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) d'une image SPOT

Dans le but d'identifier la végétation et les milieux brûlés, nous allons essayer de présenter la méthode ACP (Analyse en Composantes Principales) à partir du logiciel Idrisi, version Windows.

Une image multispectrale d'un milieu est constituée d'enregistrements suivants différents canaux spectraux, caractéristiques du satellite d'observation, dans notre cas SPOT2. L'analyse en composantes principales est une technique utilisée pour compacter ces données ou pour réduire ces redondances d'informations. Son but est de condenser les données originelles en de nouveaux groupements de façon à ce qu'ils ne présentent pas de corrélation entre eux et soient ordonnés en terme de pourcentage de variances apportées par chaque composante. Ainsi la première composante principale contient les informations relatives à la variance maximale, la deuxième contient les informations relatives à la variance suivante. Le processus est répété jusqu'à l'obtention de la *énième* et dernière composante principale. Les pertes d'informations diminuent d'une étape à une autre.

9-2-3-1-Traitement d'image : analyse en composante principale d'une image multispectrale

L'analyse en composante principale est appliquée à une image SPOT multispectrale du bassin versant du Paillon. En résumé, l'ACP est une méthode utilisée pour réduire l'information sur les « axes principaux d'inertie » ou composantes principales. Elle permet aussi d'identifier les variables qui apportent le plus d'informations, et d'observer les individus et les variables sur les composantes principales. C'est une méthode linéaire qui permet de passer d'un système de coordonnées de l'espace spectral où les données sont corrélées entre elles à un nouveau système dans lequel elles sont indépendantes l'une de l'autre. Cette

transformation linéaire n'est autre qu'une rotation d'axes dans l'espace, image qui se base sur la transposée de la matrice des vecteurs propres de la matrice de variance-covariance. Les vecteurs propres définissent de nouvelles bandes appelées composantes principales.

Avant la réalisation de l'A.C.P., il faut procéder à la séparation des différentes bandes composant l'image (fonction *séparer*) : trois nouvelles images ont ainsi été créées représentant chacune un canal. Dès lors, une analyse en composantes principales est possible (fonction *ACP*) en introduisant les différents canaux dans les bandes à traiter. Les données des images sont toujours plus ou moins corrélées. Il serait intéressant de rechercher une représentation de cette même information dans une autre configuration, en projetant tous les pixels sur des axes qui soient décorrélés. L'A.C.P. fait partie des transformations orthogonales ; elle permet de « *rechercher, dans l'espace des radiométries d'une image, les axes de plus grande variance* » (ROBIN, 2002). Il s'agit d'une compression de données permettant d'améliorer sensiblement la discrimination entre les types d'occupations du sol : c'est une sorte de résumé de l'information de l'image. Chaque axe créé est représenté par une nouvelle image.

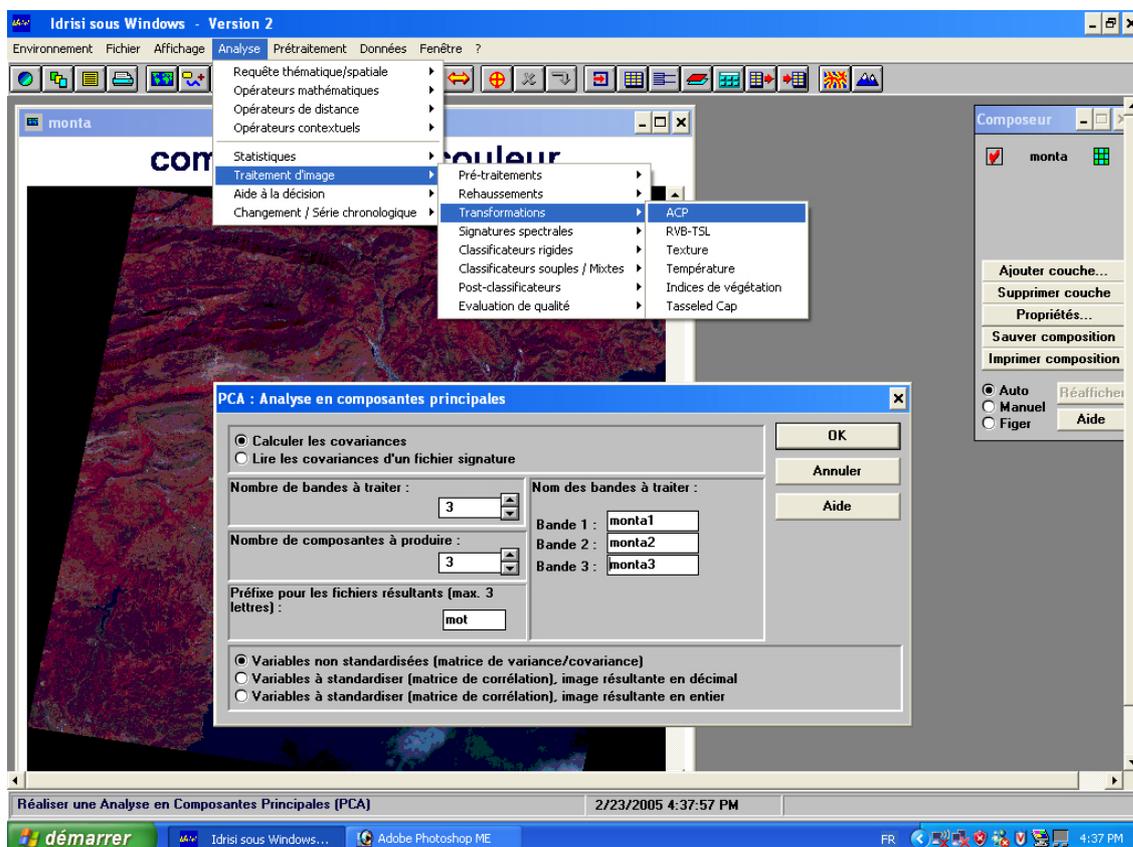


Fig. 53 : méthode d'Analyse en Composante Principale (ACP) sous Idrisi
N. HESSAS, 2004

Les différentes opérations de l'ACP sont :

- le calcul des matrices de covariance et de corrélation de l'image multispectrale ; ce sont des matrices carrées dont la dimension est égale au nombre de canaux spectraux de l'image ;
- le calcul des valeurs et vecteurs propres de la matrice covariance (selon l'algorithme de Jacobi) ;
- le calcul des composantes principales de l'image multispectrale ; le nombre des composantes est au plus égal à celui des canaux spectraux.

10- Simulation des feux de forêt : pour une meilleure compréhension du phénomène, application au bassin versant du Paillon

Chaque année, des incendies de forêt sévissent à travers le monde parcourant des centaines de milliers d'hectares. Cette destruction peut être négative, par les coûts directs et indirects qu'elle induit mais aussi positive pour certaines forêts dont elle assure la renaissance. Pour éviter que les forêts ne se consomment et pour que les délais d'intervention se réduisent, plusieurs modèles de simulations ont été mis au point. Des simulations sont faites afin de comprendre le phénomène. L'objectif est de voir comment améliorer la lutte et réduire les temps d'action. A titre indicatif, le délai moyen d'intervention des pompiers, en France, est de l'ordre de la demi-heure. Les chercheurs tentent de trouver des solutions en couvrant plusieurs domaines : la simulation en temps réel de la propagation des feux, la lutte ainsi que la prévision et la prévention du danger. La simulation est un outil d'aide à la prise de décision humaine.

La prévention aussi bien que la lutte contre les incendies de forêt dépendent du comportement du feu dans les différents types de formations végétales, en fonction de la météorologie et du relief. La localisation et la taille des infrastructures destinées à ralentir ou arrêter le feu- DFCI, pare-feu et coupure de combustible, points d'eau sont choisis et réalisés en tenant compte de la puissance énergétique du feu, de sa vitesse de progression, de l'accessibilité du terrain, et des moyens de lutte. Des travaux sur la modélisation du risque incendie, ses origines, son développement et ses conséquences ont donc été entrepris récemment. Les chercheurs s'efforcent de construire des modèles feux (en représentant le comportement du feu sur un territoire donné) qui permettront de définir les infrastructures et

les moyens les plus appropriés à la prévention et à la lutte. Les systèmes d'informations spatiales apportent une aide précieuse à l'élaboration de ces modèles. Ils permettent l'analyse de différents paramètres déterminant pour le risque incendie et ses conséquences.

10-1-Modèles et simulations de propagation de feux existants

Les incendies sont traités comme des phénomènes ponctuels. Seule est connue avec précision la localisation du point de départ du feu tandis que sa direction de propagation, sa vitesse et surtout son contour final ne peuvent être déterminés. En outre les incendies sont systématiquement attribués à leur commune de départ. Il existe différentes approches pour décrire la propagation d'un feu de forêt ou de végétation. Les premiers modèles de propagation sont apparus dans les années 60. WEBER (1991) a classé la plupart des modèles existants en trois catégories : statistique, empirique et physique.

- **Les modèles statistiques** basés sur l'observation d'un grand nombre de feux, ne permettent pas de décrire les caractéristiques ou la vitesse de propagation d'un feu. De tels modèles donnent de très bons résultats pour des feux de même nature, évoluant dans des conditions précises. Par manque de calculs (physiques), ils ne peuvent être utilisés dans des conditions différentes, ce qui restreint beaucoup leur application. Cependant, ils peuvent servir à la prévision des risques pour de grandes superficies de végétation de caractère uniforme (GIROUD, 1997).
- **Les modèles empiriques** n'aident pas à la compréhension des phénomènes car ils sont basés sur une équation globale de l'énergie qui ne permet pas de différencier les mécanismes de transfert de chaleur. Ils se limitent à la prédiction de la vitesse de propagation du feu dans des configurations données. Ils introduisent dans la formulation de la vitesse de propagation des paramètres comme, par exemple, la taille des particules, l'humidité du combustible, les chaleurs de réaction... Ils sont basés sur un principe de conservation de l'énergie, mais ils ne différencient pas les modes de transfert d'énergie. Une approche intermédiaire qui combine les approches statistique et empirique permet de prédire certains aspects du feu en un minimum de temps, et a donné lieu à des outils de prédiction opérationnels comme le système américain BEHAVE ou le système espagnol CARDIN.

- **Les modèles physiques** reposent sur l'étude des principes qui régissent le développement du feu. Ces modèles font la différence entre les modes de transfert de chaleur et utilisent plus de moyens mathématiques. Le résultat des processus de combustion est supposé connu à priori, à savoir, les caractéristiques de la flamme et des braises (température, dimensions, émissivité...). Ces modèles ne prennent pas en compte les processus de base qui expliquent la naissance et la propagation d'un feu. Ils servent donc essentiellement à améliorer nos connaissances dans ce domaine. Ce modèle décrit la pyrolyse et la combustion, mais il ne prend pas en compte l'hydrodynamique (BELLEMARE, 2000).

10-2-Application de ces modèles, par les chercheurs, selon les différentes analyses retenues

Selon CHEVROU (1998), l'analyse dynamique de l'espace utilise les modèles feux disponibles (modèles FARSITE – Etats-Unis, GEOFEU –France, CARDIN – Espagne, ...). Les modèles feux existant, développés en Amérique du Nord, sont, à la fois, simples et complexes :

- simples parce qu'ils simplifient excessivement le phénomène quant à l'état de l'atmosphère et à la structure spatiale de la végétation, le relief étant beaucoup négligé ;
- complexes parce qu'ils mettent en œuvre des fonctions complexes (souvent sous une forme très simplifiée). L'énergie de la combustion et de la progression du feu sont données en fonction de la nature et des quantités du carburant et du comburant, et de l'état hydrique du végétal. Ce qui rend ce modèle plus complexe, ce sont les variables introduites dans ses fonctions qui sont difficiles à mesurer. Elles doivent être estimées sur le terrain ou en laboratoire dans des conditions difficilement transposables.

En France, des modèles simples et opérationnels sont utilisés. Deux approches ont été testées au CEMAGREF et au Service des Ententes sur l'étude des phénomènes aérologiques et leurs interactions avec le relief:

- la simulation en veine hydraulique, appliquée au massif des Maures, a été réalisée pour modéliser l'écoulement du flux de vent sur le relief (JAPPIOT, 1998) ;
- la simulation numérique, utilisée pour le relief, donne l'altitude, la pente, l'exposition tous les 50 m.

Depuis décembre 2004, deux nouveaux programmes européens ont été acceptés et ont reçu récemment l'acceptation de la commission européenne : NOD ce projet financé par l'ESA (Agence Spatiale Européenne) a pour objectif de tester de manière opérationnelle des produits définis dans le projet CDMC et élaborés à partir du traitement d'images satellitales. Un ordinateur sera installé au SDIS13 pendant la saison opérationnelle 2005. Relié à un serveur, il permettra de récupérer des données sur l'éclosion des feux, le contour de feu, les sautes de feu et le contour final de la zone brûlée pendant la crise. Le serveur sera positionné à Madrid, dans les locaux de l'INSA et l'échange d'informations se fera via internet <http://www.ceren.org/page%20nouveautes.html>.

L'analyse stratégique de l'espace peut utiliser des modèles simplifiés. Ces outils ont été mis en œuvre sur des systèmes d'informations géographiques (SIG), ce qui facilite la localisation du risque dans l'état actuel du territoire, mais permet aussi, d'une part de calculer le risque futur en fonction des modifications prévisibles de l'habitat et de la végétation (simulation des changements), d'autre part d'estimer l'efficacité relative (actuelle et future) des diverses infrastructures DFCI opérationnelles que l'on envisage d'implanter. Un modèle ne devient rapidement opérationnel que lorsqu'il est un peu plus élaboré. Il consisterait à combiner:

- la végétation (carte) et son état hydrique en fonction de la nature du sol et de la météorologie ;
- le vent local en fonction du relief et de la rugosité de la végétation ;
- le comportement du feu en fonction du vent local et de la végétation ;
- le type et la superficie du milieu brûlé ;
- les caractéristiques de l'incendie et les actions d'extinction.

Ces données sont utilisées pour analyser la sensibilité au feu des forêts et les causes des incendies en fonction des conditions naturelles. L'intégration de ces informations aux cartes forestières est l'amorce d'un SIG ayant pour objectif la gestion des incendies. La modélisation des feux de forêts est une activité réellement pluridisciplinaire, mettant en jeu un large panel de disciplines allant de la mécanique à l'énergétique en passant par les mathématiques.

10-3-Méthodologie de la simulation de la propagation des incendies de forêt avec le modèle Prométhéus et son application au bassin versant du Paillon

Plusieurs logiciels de modélisation et de simulation des feux de forêts existent. Ils relèvent à peu près du même principe. Le modèle appliqué dans cette étude est PROMETHEUS. L'avantage de ce modèle est d'avoir un temps d'exécution très rapide permettant ainsi aux opérationnels d'avoir une réponse immédiate à leurs questions telles que : Où sera le feu dans une heure ou deux heures ? Comment se propagera-t-il ? Quels massifs ou habitants seront menacés ?...Les réponses permettront d'opérer des choix tactiques en matière de lutte et de défense publique au sens large (zones d'évacuation, zones à risque...). La simulation effectuée peut également servir en matière de prévention pour l'établissement des Plans de Prévention des risques Incendies de Forêts et pour la formation des cadres et des groupes de commandement. Prométhéus est un modèle déterministe de simulation de croissance du feu. Il emploie des données d'entrées spatiales, de comportements du feu sur différents types de topographies (pente, aspect et altitude).

10-3-1-Cheminement et organisation des données dans un SIG, du Modèle Numérique du Terrain et de la végétation à Prométhéus

Une base de données est le cœur d'un SIG car elle permet de stocker des données spatiales mais aussi des données attributaires. Elle est constituée d'une série de couches d'informations géographiques organisées de façon efficace pour être utilisées pour une ou plusieurs applications. Pour la réalisation de la simulation des couches d'informations essentielles sont utilisées par différents logiciels, toutes exportées vers le modèle Prométhéus, après avoir subies plusieurs conversions.

Le schéma suivant présente les supports nécessaires pour la réalisation de la simulation :

- sur le support informatique, disposer de cartes détaillées de la topographie (le Modèle Numérique de Terrain), de la végétation et d'un modèle feu de forêt;
- supposer certaines conditions météorologiques favorables au feu : vitesse du vent, direction du vent, sens et force du vent, sécheresse, températures, réserves en eau du sol, humidité de l'air et exposition (adret ou ubac). Modifier, ensuite, ces hypothèses pour

couvrir tous les cas possibles, fréquents ou rares. Ces données climatiques sont introduites et enregistrées ;

- afficher sur l'écran d'ordinateur les cartes et désigner un point d'éclosion du feu.

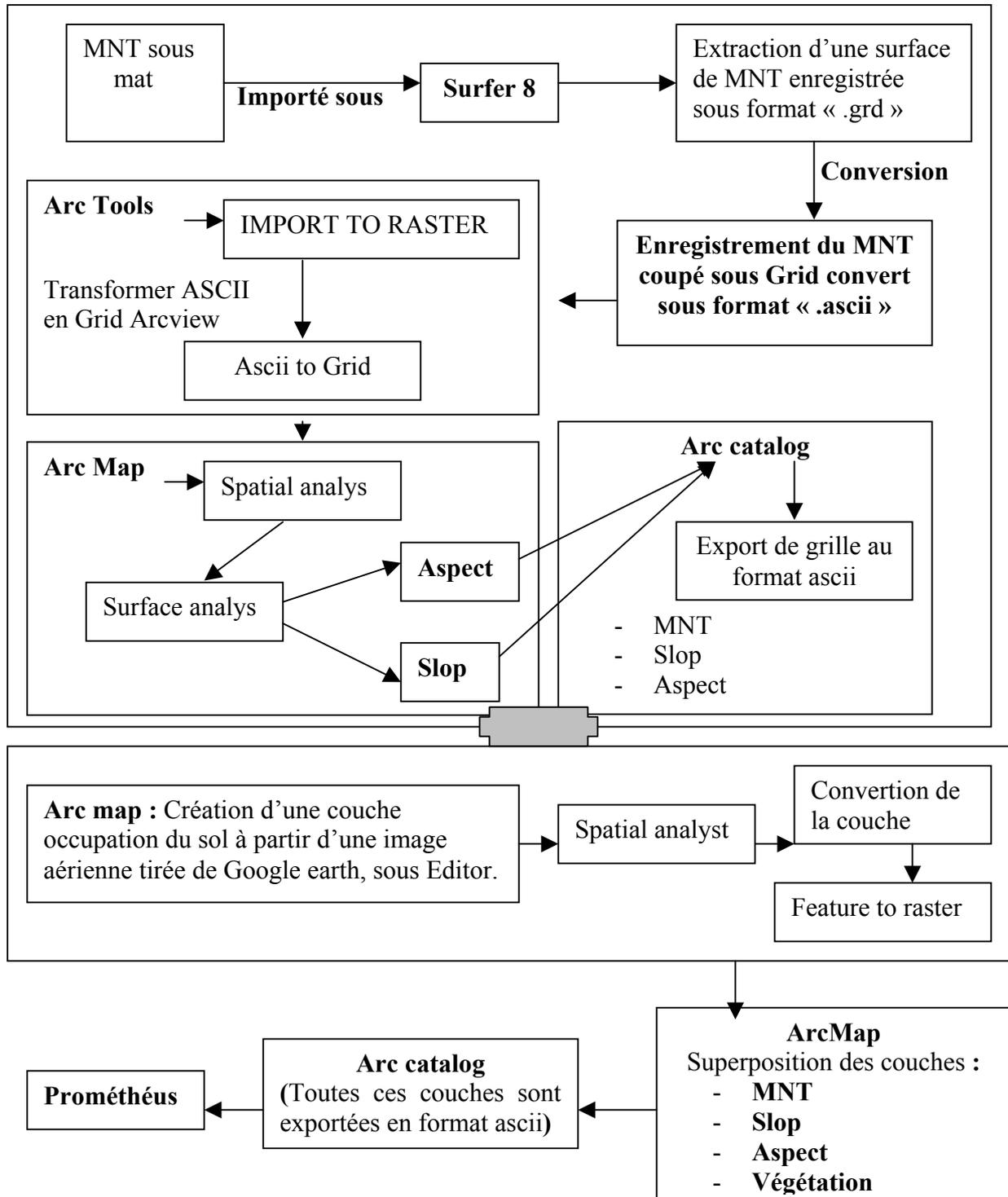
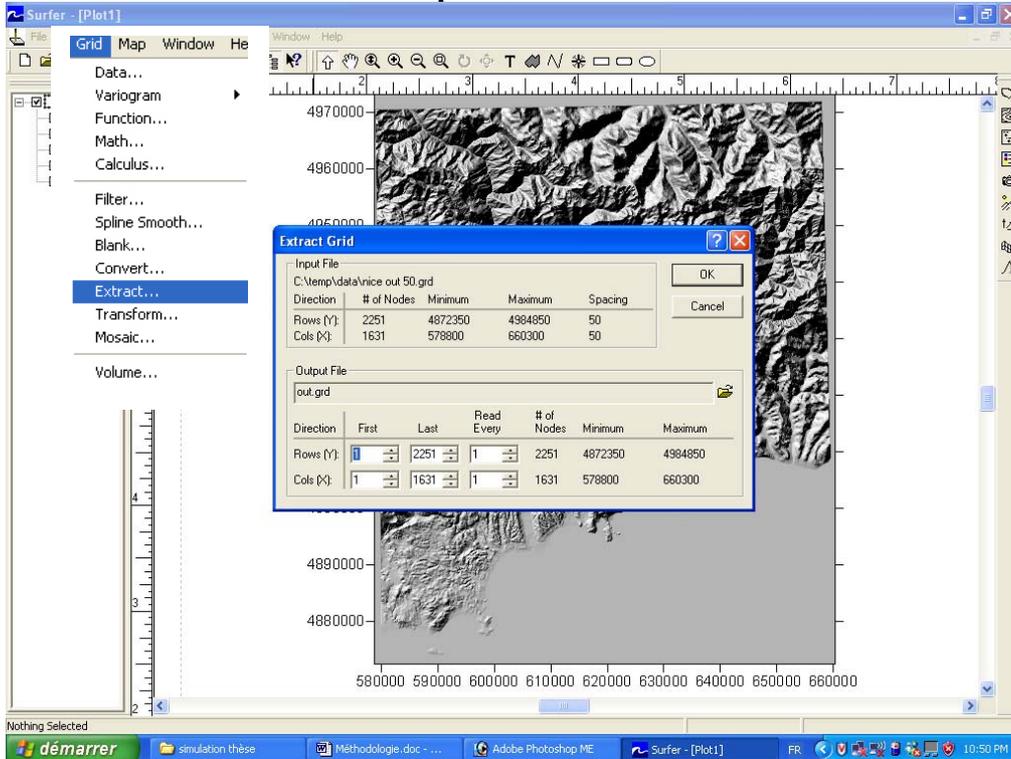


Fig. 54 : Schéma suivi pour la réalisation de la simulation

N. HESSAS, 2005

Sur Surfer 8, nous avons importé le Modèle Numérique de Terrain enregistré sous format « .grd ». Après l’affichage du Modèle Numérique de Terrain du bassin versant du Paillon, nous avons procédé à l’extraction d’une surface. La méthode adoptée est la suivante, elle consiste à réduire le nombre de lignes et de colonnes :

a - Méthode d’extraction d’une petite surface avec Surfer 8



N. HESSAS, 2005

b - Résultats de l’extraction

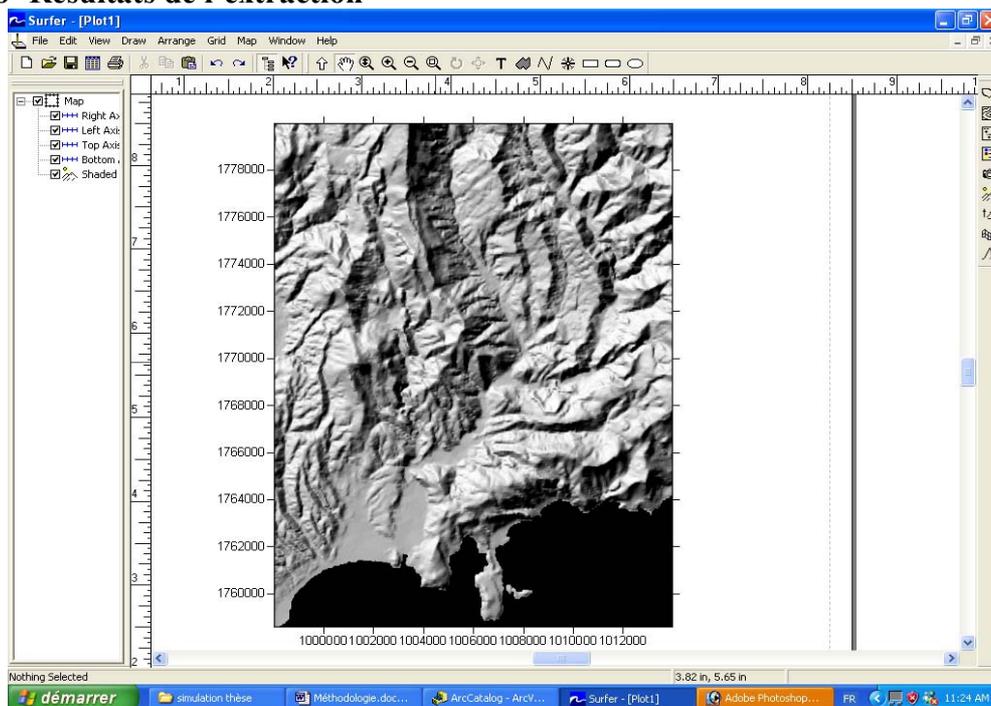


Fig.55 : Résultat de la méthode d’extraction d’une petite surface avec Surfer 8

N. HESSAS, 2005

Afin de pouvoir travailler sur ESRI (Arcview sous format « .ascii »), la conversion s'est faite d'abord sur Grid convert

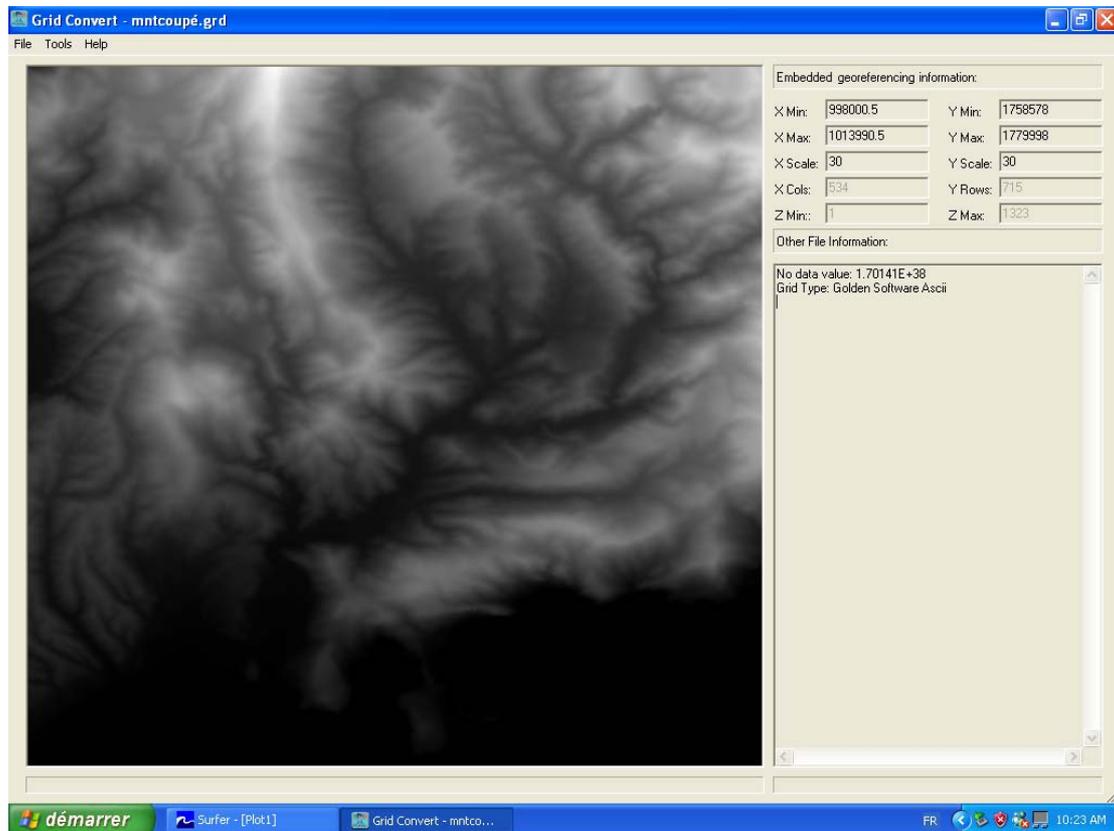


Fig. 56 : Conversion avec Grid convert (MNT.grd vers .ascii)

N. HESSAS, 2005

Le logiciel Arcview est facile d'utilisation toutes ces applications on permis d' :

- explorer, afficher et interroger les données spatiales en utilisant un panel d'outils,
- éditer les fichiers de format Arcview ou les géodatabases personnelles,
- réaliser les opérations d'analyses spatiales,
- créer des cartes de qualité en utilisant des outils ou des assistants,
- réaliser des diagrammes en 2 ou 3 dimensions,
- créer et gérer des annotations,
- échanger de nombreuses sources de données.

Trois applications, essentielles pour la simulation, existent sur le logiciel Arcview. La première utilisée est :

1- ArcToolbox : Il s'agit surtout d'un outil de conversion formats de données, de conversion des systèmes de coordonnées, de traitement et d'analyse présentés sous la forme d'assistants. Le système de conversion exploité est le suivant :

Import to raster → ASCII to Grid → Grid type integer (format demandé par Prométhéus).

2- ArcMap : est l'application centrale d'Arcview. Elle permet de visualiser, de créer, de modifier, d'analyser et de présenter les données spatiales et attributaires. Grâce à la fonction analyse spatiale, la pente (slop) (figure 58) et l'aspect (exposition) (figure 59) sont présentés en différentes classes et extraites en couches.

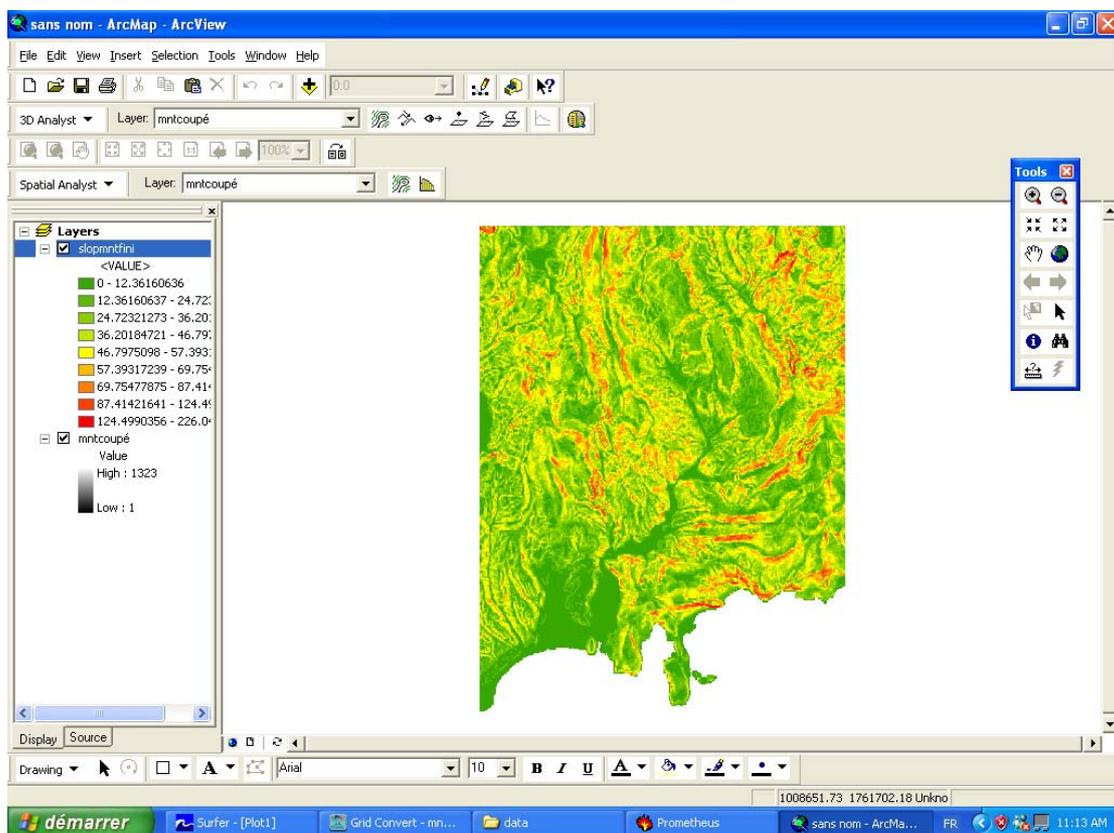


Fig. 57 : Analyse spatiale de la couche MNT, cartographie de la pente en classes.

N. HESSAS, 2005

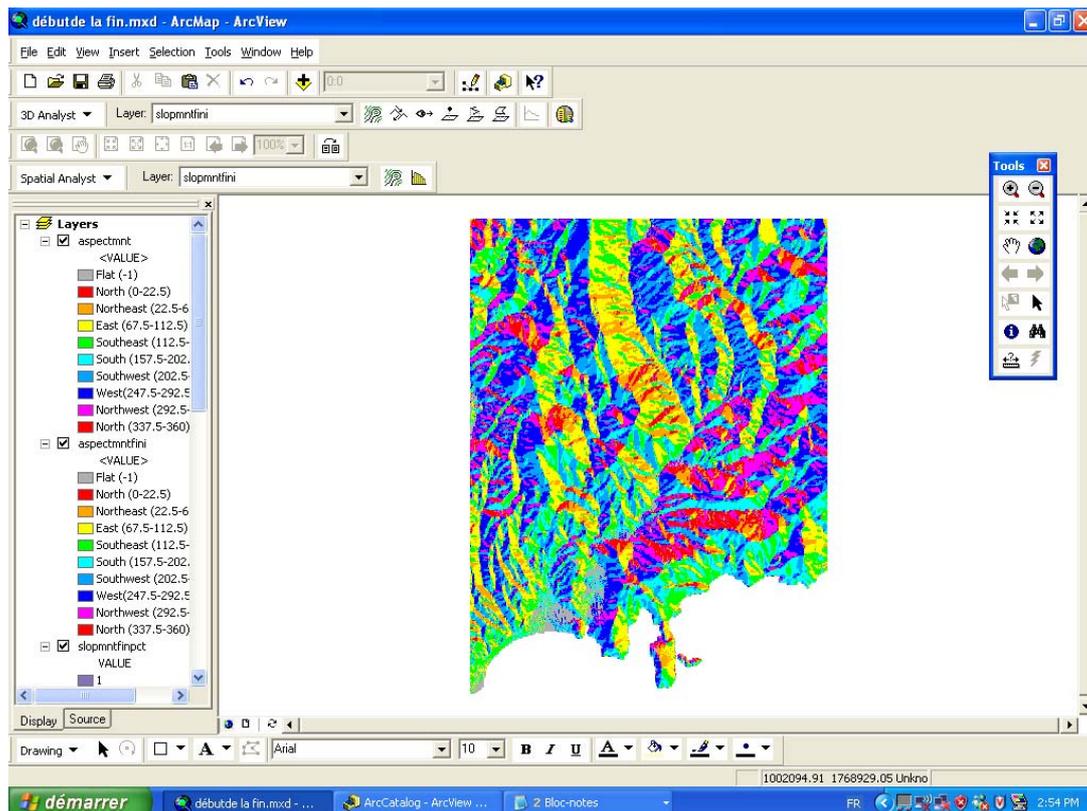


Fig. 58 : Analyse spatiale de la couche MNT, cartographie de l'exposition en différentes classes.

N. HESSAS, 2005

Avant l'utilisation de la végétation sur le modèle Prométhéus, il a fallu procéder à plusieurs applications sous arc map :

- 1- importation d'une image aérienne,
- 2- géoréférencement de l'image;
- 3- création d'une nouvelle couche de même dimension que le MNT pour la digitalisation avec la fonction Editor,
- 4- conversion de la couche sous spatial analyst de feature vers raster.

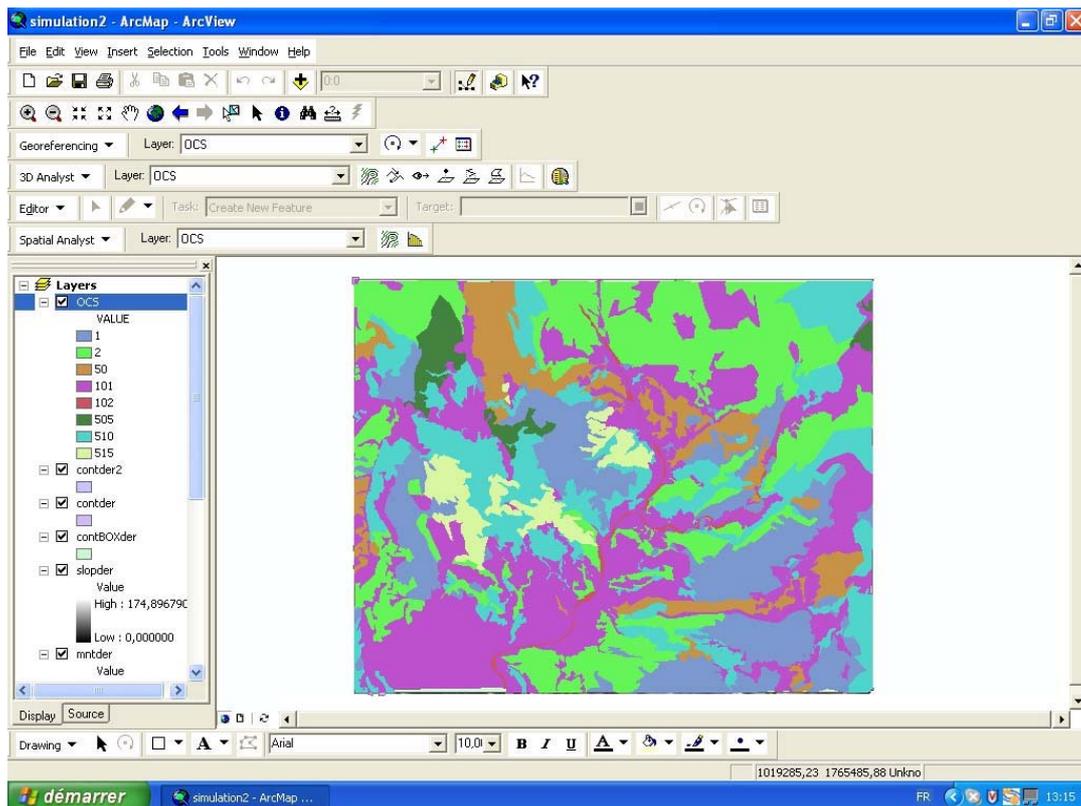


Fig. 59 : cartographie de la végétation réalisée sous Arc map.

N. HESSAS, 2003

3- ArcCatalog est l'application qui permet de gérer, de consulter et d'enrichir les sources de données. L'icône « exporter une grille vers un fichier ASCII » permet l'archivage de toutes ces couches dans le catalogue.

Le modèle montre comment le feu se propage dans le temps, l'énergie qu'il dégage, etc.... compte tenu de la végétation, de sa biomasse, de son état hydrique, du relief, des obstacles, etc.... Ensuite répéter l'étude pour d'autres points de la zone de façon à couvrir tous les cas possibles de récurrence. Lors de la manipulation, dès que le feu s'est déclaré, si l'on connaît son contour, il peut être saisi immédiatement sur le fond cartographique et la simulation de la propagation démarre alors de ce contour. Les conditions de la zone météorologique dans laquelle le feu s'est déclaré peuvent être changées à tout moment et la propagation du feu tiendra compte de ces nouvelles données.

11-Limites et critiques de certaines méthodes employées

Le travail présenté ci-dessus n'a pas l'ambition de couvrir l'ensemble des applications de la télédétection aux incendies de forêt. Il serait difficile de développer avec les seules informations classiques (données de terrain, photographies aériennes, cartographies diverses) l'étude de la cartographie du risque d'incendie et de la reprise de la végétation. Par contre la télédétection satellitale apporte une contribution décisive à des programmes en raison de ses caractéristiques spatiales et temporelles. Elle est donc une source d'informations géographiques originales.

Durant la digitalisation, le travail doit être précis afin de permettre la récupération de la géométrie des objets topographiques : un polygone ne peut être constitué que d'un arc revenant à son point d'origine et donc soigneusement fermé. Chaque arc est indépendant. Certains logiciels ont des fonctions de vectorisation d'une image raster ; il faut dans ce cas obligatoirement vérifier le résultat afin de s'assurer que les polygones sont bien fermés.

Les formats standardisés des photographies aériennes sont de 23 cm x 23 cm. La contrainte vient de la taille du document qui est limitée à celle du scanner, format A4. Toutes les photos ont été découpées et recollées à l'aide du logiciel Adobe Photoshop 7.0 M.

Les photographies aériennes, de par l'ouverture de l'angle de prise de vues, sont beaucoup plus déformées que les images satellitales. De par la faible altitude de la prise de vue, les déformations dues au relief ne peuvent pas, en général, être négligées. L'utilisation conjointe d'un référentiel cartographique et d'un référentiel altimétrique est nécessaire pour produire une image géographiquement conforme.

Certaines contraintes sont à signaler car après redressement des défauts persistent. Dans la démarche suivie, citée précédemment, malgré le fait que lors du positionnement des points « amers » nous ayons pris les mêmes coordonnées pour les mêmes points, pour les photographies de 1955, 1977 et 1990, des décalages demeurent. Chaque série de photographies aériennes, selon les années et l'utilité souhaitées, est prise avec un appareil différent et à des altitudes différentes ce qui occasionne les modifications entre chaque cliché. De plus, le fait de ne pas pouvoir rentrer les renseignements nécessaires pour la rectification des photographies de 1955 (pas de certificat de calibration), entraîne des erreurs perceptibles lors de l'étude comparative sous « Map info 6.0 ». Les différences visibles au niveau de la

superposition des différents documents cartographiques pour voir l'évolution, s'expliquent par tous ces facteurs. Une superposition au centimètre près est quasiment impossible à réaliser à notre niveau, d'où l'existence d'un décalage sur les documents produits.

12-Conclusion du chapitre V

La lutte contre la dégradation des écosystèmes forestiers par l'action des incendies nécessite une détection et une surveillance pour une gestion optimale. Les moyens, généralement classiques, mis en place pour étudier et évaluer ce phénomène sont difficiles à mettre en évidence. L'étude et le suivi des changements subis au niveau des massifs forestiers nécessitent l'utilisation de nouvelles techniques pour gérer l'espace. L'outil « télédétection » reste une voie incontournable. La mise en relation de données de terrain et de télédétection permet d'obtenir une cartographie de plusieurs types de dynamiques de reprises végétales. Le but de l'utilisation de la télédétection est la recherche d'informations extractibles des mesures radiométriques pour remplacer les autres modes classiques (enquêtes, compagnes de mesures sur le terrain, etc.). Elle permet aussi de gagner du temps et de l'argent par rapport comparée aux méthodes d'études traditionnelles. Les traitements utilisés en télédétection ont pour but la mise en forme des données saisies par différents capteurs embarqués sur des plates formes puis leur traduction en informations adaptées aux besoins des utilisateurs.

Malgré toutes ces insuffisances, les photographies aériennes demeurent l'outil privilégié d'analyse spatiale à grande échelle. Leurs avantages sont une définition supérieure et leur antériorité par rapport aux images satellitaires pour toute étude portant sur la dynamique de phénomènes. Leurs handicaps sont les déformations géométriques induites par le relief et les conditions de prise de vue. Par conséquent le travail sur photographies aériennes doit être précédé d'une préparation minutieuse de celles-ci afin de cerner tous les aspects de variation de teintes, élévation de l'angle solaire, l'aspect radiométrique (contraste, couleur) et textural (taille, forme) des objets géographiques dans les photos.

Les travaux présentés dans ce chapitre n'ont pas l'ambition de couvrir l'ensemble des applications de la télédétection aux incendies de forêt. L'utilisation de l'image satellite SPOT montre que la télédétection satellitale, en raison de ses caractéristiques spatiale et temporelle, apporte une contribution décisive à des programmes (exemple cartographie du risque d'incendie et de la reprise végétale) qu'il serait délicat, voire impossible, de développer avec

les seules informations classiques). La télédétection satellitale est donc une source d'informations géographiques originale, dont la richesse doit être mise au service du gestionnaire, de l'aménageur, du décideur.

Les informations géographiques, quelles que soient leur forme, leur date de création, leur échelle et leur nature, doivent pouvoir être exploitées ensemble. Les objets sont référencés par rapport à un système de coordonnées variables (cartésiennes, géographiques et en projection). Ces données sont géoréférencées dans le même système de projection de manière à être complètement superposables dans un SIG. Un aller retour permanent entre outils SIG et outils de télédétection est indispensable. L'approche par les systèmes d'information géographique est un bon moyen pour spatialiser des modèles répondant à la question « comment ? », elle donne des solutions pour l'intégration des niveaux d'information et sur la cartographie des résultats « où ? Combien ? », et elle permet de développer des scénarii pour les interventions humaines sur le milieu « que se passera – t- il... ? » (SPANNER et *al.* 1998).

Chapitre VI

Evaluation et cartographie des incendies dans les Alpes-Maritimes : dynamique paysagère et évolution du risque dans le bassin versant du Paillon

Chapitre VI : Evaluation et cartographie des incendies dans les Alpes-Maritimes, dynamique paysagère et évolution du risque dans le bassin versant du Paillon, simulation du phénomène feu

Ce chapitre est découpé en trois parties d'égale importance :

- 1- Analyse statistique et cartographique des feux de forêt,
- 2- Incidence sur l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du Paillon,
- 3- Simulation du phénomène feu → conclusion

A- Analyse statistique et cartographique des feux de forêts et périurbains dans le département des Alpes-Maritimes

Afin d'appréhender à moyen terme le risque lié aux incendies de forêts, il est essentiel de réaliser une approche historique. Son analyse nous permettra de mieux comprendre les répartitions spatiales et temporelles. L'ensemble des analyses présentées dans cette étude ont été réalisées grâce aux données recueillies par le SDIS, la DDAF, la gendarmerie, la police, l'ONF, les données bibliographiques et les archives de la base Prométhée. Une analyse statistique sur trente années (de 1973 à 2003) d'incendies répartis dans le département des Alpes-Maritimes est développée dans la première partie de ce chapitre. Ce recensement permet de dresser un premier bilan, d'apprécier la sensibilité d'une région face aux incendies de forêts et de comprendre les conditions d'éclosion et de propagation.

Nous disposons grâce à Prométhée d'informations pour tout incendie survenu dans chacune des communes du département des Alpes-Maritimes :

- la date et l'heure de l'éclosion,
- la superficie brûlée, enregistrée dans la commune,
- le temps d'alerte,
- le type de structure brûlée,
- la cause du sinistre lorsqu'elle est connue.

Des données manquent dans la banque comme par exemple le nombre de sauveteurs, l'heure d'arrivée sur les lieux du sinistre, la nature des peuplements incendiés, le nom de la zone brûlée, ou, mieux, des points géographiques d'éclosion, le type de propagation,

l'absence totale d'informations sur les conditions météorologiques au moment de l'incendie, sur le niveau de risque et sur les dépenses. Les informations mémorisées dans cette banque de données ont permis de retracer l'évolution du phénomène « incendies » tout au long du siècle.

1-Aperçu des incendies, en nombre, dans les départements méditerranéens français

La fragilité de la forêt face à l'incendie n'est pas un phénomène nouveau. Depuis longtemps la forêt subit des agressions répétées. La plupart des idées reçues veulent que les incendies de forêts soient un phénomène récent. Depuis la seconde guerre mondiale l'abandon des méthodes traditionnelles et le développement d'une urbanisation anarchique ont conduit souvent à un véritable mitage de la forêt. Mais il est clair que l'image d'une forêt méditerranéenne bien entretenue et donc invulnérable aux incendies relève d'un mythe « âge d'or » qui n'a jamais existé. La place des Alpes-Maritimes par rapport aux autres départements, après trente années de « fidélité » à l'incendie, est représentée, dans le tableau suivant, par les valeurs extraites du site prométhée.

Tableau 19 : Classement des départements français méditerranéens les plus touchés par les incendies de forêt (de 1973 à 2003) en surfaces brûlées et en nombre de feux

Départements	Surfaces brûlées (ha)	Nombre de feux	Rang
Haute Corse	203 377	16 935	1
Var	119 997	12 082	2
Corse du Sud	108 501	13 245	3
Bouches du Rhône	74 927	7 389	4
Alpes-Maritimes	59 115	6 337	5
Gard	47 440	6 070	6
Pyrénées Orientales	46 168	3 315	7
Ardèche	44 237	7 053	8
Aude	36 756	2 896	9
Hérault	31 814	4 259	10
Lozère	20 813	1 545	11
Alpes de Hautes Provence	11 085	1 169	12
Vaucluse	7 818	2 829	13
Hautes Alpes	3 692	587	14
Drome	1 431	518	15

Source : Prométhée

Le département des Alpes-Maritimes de 1973 à 2002 est classé 7^{ème} par rapport aux autres départements, touchés par les incendies. L'année 2003 a repositionné les Alpes-Maritimes comme le montre le tableau ci-dessus. Il occupe la cinquième place.

Avec 61 507 hectares parcourus dans les 15 départements du Sud-Est, le bilan de la saison 2003 est le plus lourd depuis que Prométhée existe, c'est-à-dire sur les trente dernières années. Jusqu'à présent, les chiffres des années 1979, 1989 et 1990 avaient marqué les esprits, mais aucun de ces trois bilans n'avait dépassé les 60 000 hectares comme ce fut le cas en 2003, 53 351 hectares en 1979, 56 871 hectares en 1989 et 53 897 hectares en 1990. Le bilan 2003 est dix fois plus important que celui de l'année précédente. Avec 6 299 hectares parcourus, 2002 avait été l'un des plus faibles.

Depuis 1991, tous les bilans sont très nettement inférieurs à la moyenne (26 348 hectares parcourus, en moyenne annuelle, de 1973 à 2003). A cet égard, les résultats de 1994 (22 605 hectares, soit - 14 %), de 2000 (18 864 hectares, soit - 28 %) et de 2001 (17 970 hectares, soit - 32 %) apparaissaient presque comme des anomalies, voire des dérapages, dans une situation qui semblait désormais maîtrisée. 2003, avec ses 61 507 hectares parcourus (+ 133 % par rapport à la moyenne) mais aussi avec ses pertes humaines et ses images à jamais gravées dans la mémoire collective, appelle donc à la réflexion et à l'humilité. Par contre le nombre d'incendies annuels, à l'exception un peu inexplicable de 1993 et 1999, est toujours inférieur, voire très inférieur à la moyenne générale (2 777 feux en moyenne annuelle sur la période « Prométhée »). Ainsi, en 2002, on notait une diminution de 40 % par rapport à cette moyenne. L'augmentation subie en 2003 (+ 26 %) est supérieure à celles correspondant aux années qui présentent des bilans de plus de 50 000 hectares (1979 : + 5 %, 1990 : + 20 %, 1991 : + 19 %).

Au total, depuis le début de l'année 2003 en France, la superficie touchée par le feu peut ainsi être évaluée à 72 500 hectares (alors que la moyenne au cours des dix dernières années est de 19 000 hectares), comparable à celles des années 1989 et 1990 au cours desquelles 75 000 hectares de formations forestières et subforestières avaient été parcourus en France métropolitaine, dont près de 62 000 hectares pour la seule zone méditerranéenne. Environ 6 000 éclosions ont été répertoriées au total, dont près de 3 000 en zone méditerranéenne. Le feu a tué 10 personnes, dont 4 sapeurs pompiers. Sans minimiser l'importance des incendies de l'été 2003 dans le Sud-Est de la France, le directeur général de l'ONF, a souligné que ces pertes importantes s'inscrivaient dans un contexte mondial

exceptionnel. « En effet, sur un territoire plus petit, les portugais déplorent 400 000 hectares brûlés. Au Canada, près de 4 millions d'hectares ont été perdus... ». En Californie, on compte 254 victimes, 300 000 hectares brûlés et 3 000 maisons détruites. La Colombie britannique a connu un phénomène du même ordre de grandeur que la Californie... » (<http://www.senat.fr/>). Selon DONG (2003) avant 1988, la superficie brûlée par les incendies de forêt en Chine (moyenne calculée sur 40 ans) était de 971 000 hectares ; la moyenne pour la dernière décennie est de 52 170 hectares, soit une baisse de 95 %. Ce ci est dû aux changements intervenus dans le système politique de lutte contre les incendies de forêt, selon l'objectif initial de « minimiser les pertes dues aux incendies de forêts et l'orientation consistant à mettre l'accent sur la prévention, et à donner la priorité aux actions suffisantes en matière d'extinction ».

On notera que la zone exposée aux incendies en France couvre environ 2 millions d'hectares de forêts et 2 millions d'hectares d'espaces naturels dans les 15 départements du Sud-Est, ainsi qu'un million d'hectares de forêts dans le massif landais. Les incendies touchent les forêts mais aussi les landes, composées de genêts et de petits arbustes ; le maquis et la garrigue qui constituent la végétation traditionnelle des départements du Sud-Est, sont également concernés. La végétation xérophile, souvent sempervirente, est caractérisée par l'abondance des ligneux, des feuilles petites est vernissées pour résister aux dures conditions de l'été. Le climat méditerranéen connaît chaleur et sécheresse estivale, hivers relativement doux même si les coups de froid ne sont pas exclus et une variabilité inter annuelle parfois importante. Le relief qui permet la propagation rapide des incendies est souvent vigoureux avec des montagnes qui donnent l'impression de tomber dans la mer et l'étroitesse des plaines littorales. Le compartimentage du relief qui subit une érosion violente et la végétation pelée donnent parfois le sentiment de paysages désolés où la marque du feu est souvent présente. Ces différents facteurs cités le confirment pour l'année 2003 puisque les départements de loin les plus touchés sont la Haute-Corse (20 908 hectares) et le Var (18 820 hectares) en grande partie dans les massifs des Maures et l'Estérel. Ils cumulent à eux deux près de 65 % de la surface totale incendiée (HENRY a, b, c, 2003).

2-Evaluation de l'aléa feu dans le département des Alpes-Maritimes

L'étude de l'aléa a pour objectif d'apporter des connaissances sur la localisation des zones soumises à un incendie ainsi que son ampleur.

L'aléa est défini comme « la probabilité qu'un phénomène naturel d'intensité donnée se produise en un lieu donnée ». Il résulte donc du croisement de la probabilité d'**occurrence** et de l'**intensité**.

La détermination d'un aléa est complexe compte tenu de la très forte variabilité spatiale des feux de forêt. Il est recommandé de déterminer les conditions de référence qui serviront lors de l'évaluation des aléas. Il s'agit de mettre en évidence certaines données caractéristiques telles que l'**intensité**, les **localisations préférentielles**, la **surface brûlée**, les principales **directions du vent**, la **sécheresse** de la végétation en se fondant sur l'étude des feux passés. La figure suivante montre les indicateurs utilisés et la démarche suivie pour calculer l'aléa dans le département des Alpes-Maritimes.

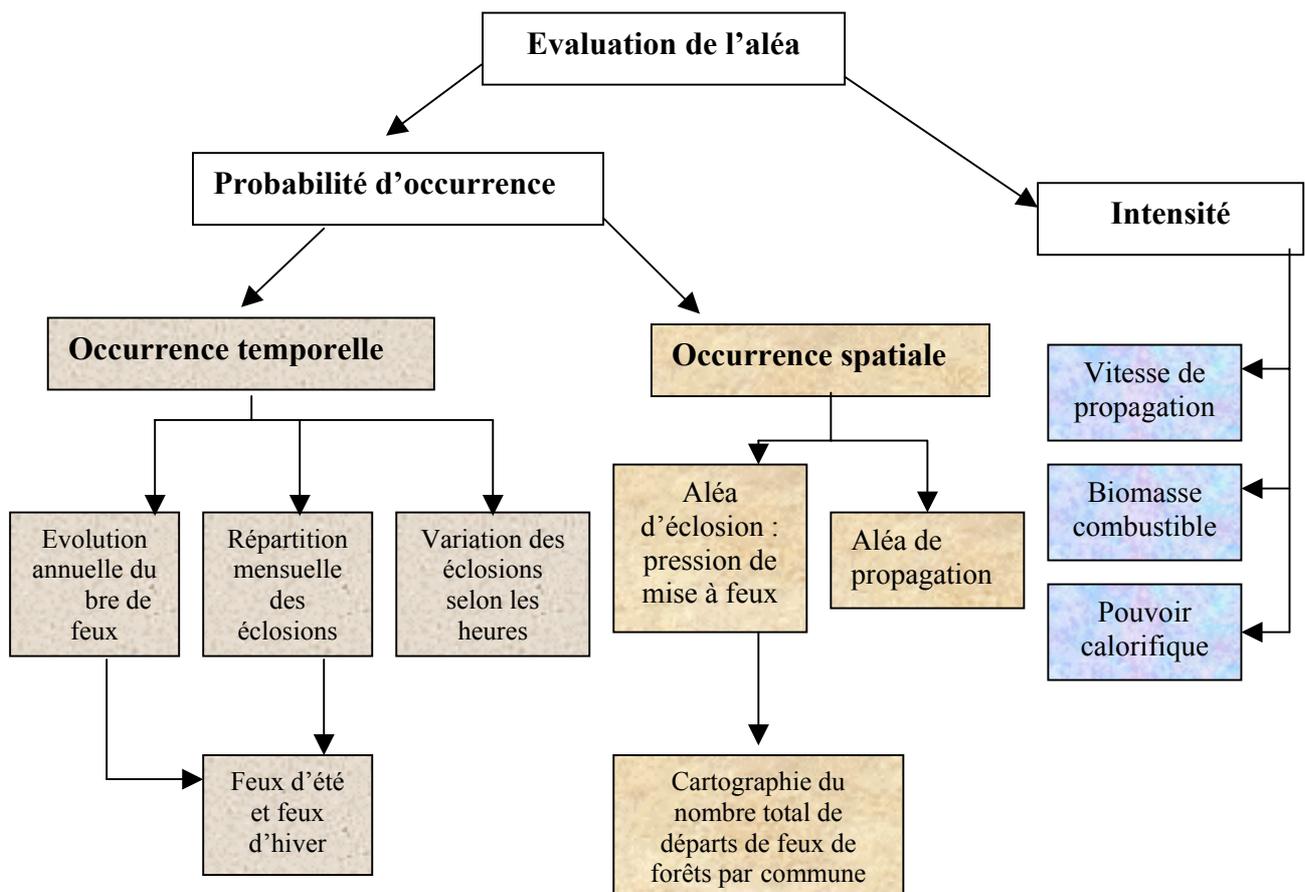


Fig. 60 : Méthode suivie pour l'évaluation de l'aléa
N. HESSAS, 2005

La probabilité d'occurrence est parfois difficile à déterminer, d'autant plus qu'un événement naturel peut être la résultante complexe d'aléa naturel « physique » et d'aléa humain, dépendant, de facteurs socioéconomiques. Cette probabilité est fondée sur deux aspects (figure ci dessus) :

1- la probabilité d'occurrence temporelle correspond à la période de retour d'un feu. Celle-ci est fondée sur l'analyse de données historiques.

2- la probabilité d'occurrence spatiale : pour chaque zone du bassin à risque, d'être soit à l'origine d'un départ de feu, soit d'être touchée par un incendie.

L'intensité d'un incendie de forêt, correspond à la puissance du front de feu.

2-1-Probabilité d'occurrence temporelle : étude du phénomène éclosion du feu dans le département des Alpes-Maritimes en fonction du temps

2-1-1-Evolution annuelle du nombre d'incendies de forêt enregistrés dans les Alpes-Maritimes

Le nombre de feux recensés par années, mois et jours, nous facilitera la compréhension de ce phénomène et des facteurs déclenchant. La répartition des départs de feux ne rend que partiellement compte de la physionomie des dégâts.

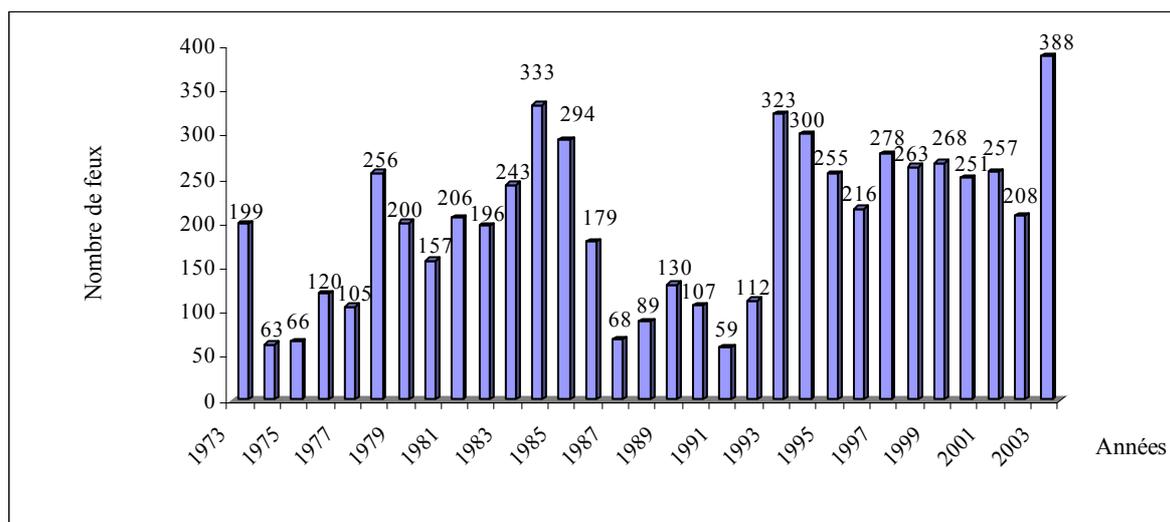


Fig. 61 : Evolution du nombre de feux par années, entre 1973 - 2003, dans les Alpes-Maritimes.

Source : Prométhée
Réalisation : N. HESSAS, 2005

La figure illustre la variabilité de cet aléa au fil des années. Les premiers points pris en considération pour le déclenchement des feux sont la sécheresse du sol et de la végétation, l'insolation,.... Les périodes de grandes sécheresses, par exemple, rendent la végétation sensible aux incendies alors qu'un vent soutenu favorise sa propagation. Le département des Alpes-Maritimes déplora un nombre important d'incendies pouvant s'expliquer en partie par des conditions météorologiques très sensibles, enregistrées auxquelles s'ajoute la malveillance due à une fréquentation très importante par les touristes des massifs montagneux. Nice est le 2^{ème} pôle touristique de France avec plus de 10 millions de visiteurs en 2001, plus de 8 millions en 2002 et 2003 (INSEE, 2004). Nice est un point de jonction privilégié entre les Alpes, la Provence, la Corse et l'Italie. La ville occupe un site naturel remarquable au cœur de la Côte d'Azur. Elle s'est développée dans un large bassin ouvert au Sud sur la Méditerranée et bordé d'Est en Ouest par une succession de collines boisées. En arrière plan, s'élèvent les premiers sommets des contreforts alpins, dont certains culminent à plus de 3 000 m d'altitude, bien que 50 km à vol d'oiseau les séparent du littoral.... Aujourd'hui, on assiste à une modification de l'espace du fait de l'urbanisation du milieu naturel et de l'embroussaillage de zones rurales consécutivement à la déprise agricole. On observe un accroissement de la surface de contact entre les espaces naturels combustibles et les habitations. Cette situation augmente simultanément les risques de départs de feux, que l'on sait principalement liés aux activités humaines et les enjeux puisqu'il s'agit en priorité de protéger les personnes et les biens. De 1973 à 2003, certaines années comptabilisent peu d'incendies comme 1991, 1974 et 1975 avec respectivement 59, 63 et 66. Cette faible fréquence peut causer des dégâts importants en superficie. Les années qui connaissent le plus d'incendies sont 2003, 1993 et 1984 avec respectivement 388, 323 et 333 feux. Le nombre d'incendies relevés en 2003 traduit l'âpreté de la saison (temps caniculaire). Avec 388 feux de forêts, c'est un des plus forts bilans en nombre, des trente dernières années. Si l'on excepte les années soixante dix durant lesquelles tous les dispositifs actuels de prévention, de prévision et de lutte n'existaient pas, jamais un tel nombre n'avait été atteint. De 1985 à 1992, le nombre d'incendies annuels avait été toujours inférieur, voire très inférieur à la moyenne générale qui est de 206,3. L'augmentation subie en 2003 de 1,88 %, par rapport à la moyenne, est supérieure à toutes les autres années.

Selon BADER et KUNZ (1998) le nombre d'événements, incendies de forêt, au Sud des Alpes, le canton du Tessin dans son ensemble, les vallées méridionales des Grisons (Calanca, Mesolcina, Bregaglia, Poschiavo) et la région Valaisanne du Zwischbergental –

Gondo -Simplon) est resté globalement stable de 1900 à 1960, fluctuant autour d'une moyenne de 30 événements par an. Depuis la fin des années soixante par contre, on assiste à une augmentation de la fréquence des incendies se stabilisant actuellement autour de 90 cas par an. Les régions touchées, particulièrement depuis 1970, sont celles présentant des facteurs de prédisposition les plus aigus : concentration élevée de la population, altitudes faibles, forte disponibilité en matériaux inflammables. Pourtant avant les années soixante, la législation, les services de sécurité et les campagnes n'étaient pas mis en place. En Turquie, de 1937 à 1998, on parle de 63 604 incendies ayant entraîné la destruction de 1 477 186 hectares de terres forestières. Ceci représente 1 046 incendies sur 24 210 hectares par an, pour une superficie moyenne brûlée de 21 hectares par incendie. Selon MOL et KÜCÜKOSMANOGLU (1997) malgré l'augmentation progressive du nombre d'incendies au cours des dernières années, grâce à une utilisation croissante et efficace des technologies dans les domaines du transport, des communications, et de l'extinction des incendies, la superficie brûlée a été réduite de moitié et maintenue dans une moyenne de 12 000 à 14 000 hectares.

2-1-2-Variations du nombre de feux éclos en fonction des mois de l'année

Il est intéressant d'aller plus loin dans l'analyse pour savoir à quel moment la fréquence d'apparition de ces feux est importante. La végétation change en fonction du climat et des saisons. L'étude du nombre de feux en fonction des mois montrera les périodes où la végétation est sensible et à quelle période de l'année les incendies sont fréquents.

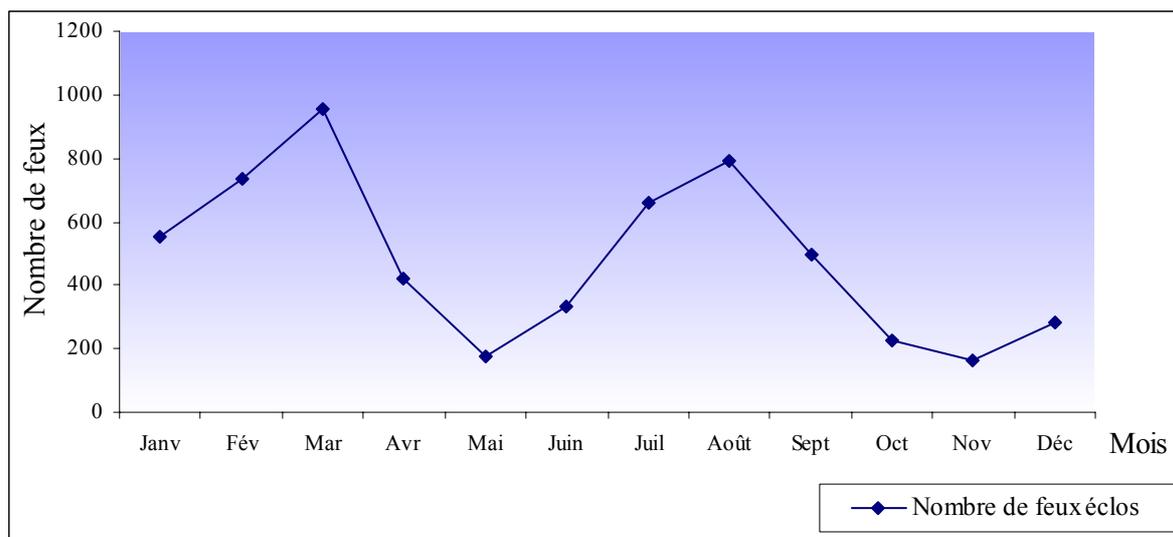


Fig. 62 : Répartition mensuelle des éclosions, 1973-2003, dans les Alpes-Maritimes

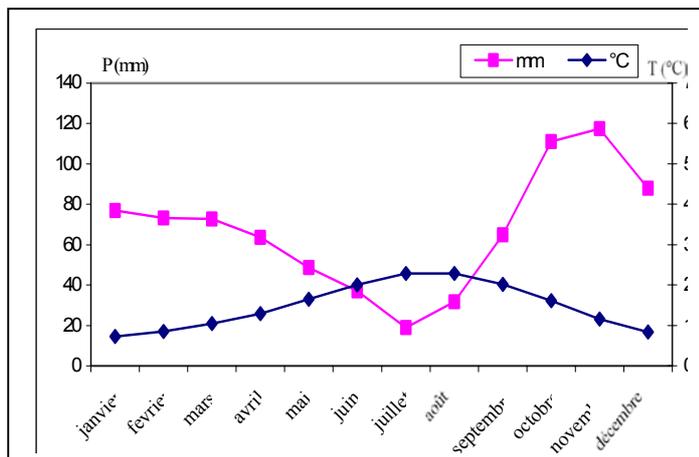
Source : Prométhée

Réalisation : N. HESSAS, 2005

Deux pics sont présents dans l'année, mars et août. Le premier correspond surtout à l'hiver ; à partir de décembre le nombre augmente vite allant jusqu'à atteindre en moyenne 31,8 feux au mois de mars, dépassant les feux d'été dont le maximum est enregistré au mois d'août avec une moyenne de 25 ignitions. De 1973 à 2003, fin mai connaît une situation inquiétante. Après des mois de plus en plus chauds et secs, la réserve en eau du sol présente un caractère déficitaire, voire la reprise de dessèchement et le retour progressif d'une sensibilité aux feux de forêt quasi généralisée. Le facteur favorisant l'inflammabilité d'un peuplement dépend de la proportion d'éléments fins et découpés dans la végétation. Ces éléments sont plus sensibles à la dessiccation et au rayonnement et seront donc mieux disposés à brûler si leur teneur en eau est faible, particulièrement en période de sécheresse et/ou en période venteuse. Selon GOLDAMMER (2001), un feu qui brûle dans des conditions modérées, avec des intempéries modérées, contribue à nettoyer la forêt, à la débarrasser d'un excédent de matière combustible. Le feu n'est réellement destructif qu'en période de sécheresse, pendant un été long et sec, car toute l'énergie de cette matière combustible se développe.

En matière de risque d'incendies, l'élément fondamental de cette période d'été est la quantité exceptionnelle de pluies et une élévation des températures. Au mois d'août la canicule s'installe en région méditerranéenne, les températures atteignent fréquemment 38 et 39 °C, voire 40 et 41 °C phénomène observé surtout en 1976, 1988, 1989 et 2003. La masse d'air est extrêmement sèche. Le dessèchement est généralisé et s'opère à une rapidité remarquable. Le déficit en eau dans les sols sur plusieurs jours entraîne un stress hydrique de la végétation et la fragilisation du milieu. Selon le Service Central Exploitation Météorologique de Météo France, en 1988 et 1989 les précipitations sont déficitaires et aucune goutte d'eau n'est observée dans les Alpes-Maritimes et le Var. Le déficit pluviométrique cumulé représente 16 % (70 mm de déficit). La conjonction des conditions thermiques hygrométriques exceptionnelles a considérablement augmenté l'inflammabilité des forêts. Les départements méditerranéens souffrent de sécheresse renforcée par une longue période estivale caniculaire, qualifiée de catastrophique. La température est la variable la plus importante pour déterminer les conditions de brûlage dans les zones forestières.

Comme nous le montre ce diagramme ombrothermique tracé et illustré dans le chapitre II, la durée de sécheresse s'étale entre le mois de mai et août. Ce qui explique une fois de plus le nombre élevé de feux pendant cette période. Plus de 2 000 départs de feux sur 30 ans ont été recensés, ce qui



représentent 66 incendies par saison et par an. Dans ces conditions thermiques et sur fond de sécheresse aggravée, les feux de forêt ont été très nombreux. Les Alpes-Maritimes pendant cette période ont enregistré à Vence deux incendies le 31 juillet et le 02 août qui ont ravagé respectivement 88 et 60 hectares. D'autres communes ont été touchées les mêmes jours avec des pertes similaires. Par contre, pour mars, la majorité des incendies enregistrés pendant ces 30 ans peuvent être d'origine accidentelle liés aux écobuages. Selon LAMBERT et PARMAIN (1990) in RIGOLOTT (1999), les brûlages dirigés sont réalisés pendant l'hiver alors que la végétation est au repos. Ces feux croissent à partir de décembre. Le nombre de feux éclos dans les Alpes-Maritimes est beaucoup plus concentré en 1984 et nous remarquons que pendant cette année il est surtout important en hiver : le maximum a été observé en janvier, en février et en mars.

L'examen de la répartition annuelle de ces départs de feux vient une fois de plus confirmer la complexité du phénomène. La figure suivante montre que l'été n'est pas l'unique saison du feu. Certes, plus de la moitié des incendies se déclenchent entre mars et août, mais cela signifie également que près d'un feu sur deux n'a pas démarré en été. Ces incendies se répartissent à peu près équitablement d'octobre à décembre ainsi qu'au mois de mai avec cependant une prédominance des mois d'hiver. Le croisement des informations sur la date et la localisation des incendies indiquent que la répartition annuelle des départs de feu varie sensiblement selon les secteurs. La répartition des départs de feux par saison dans le département est présentée avec détail dans cette figure :

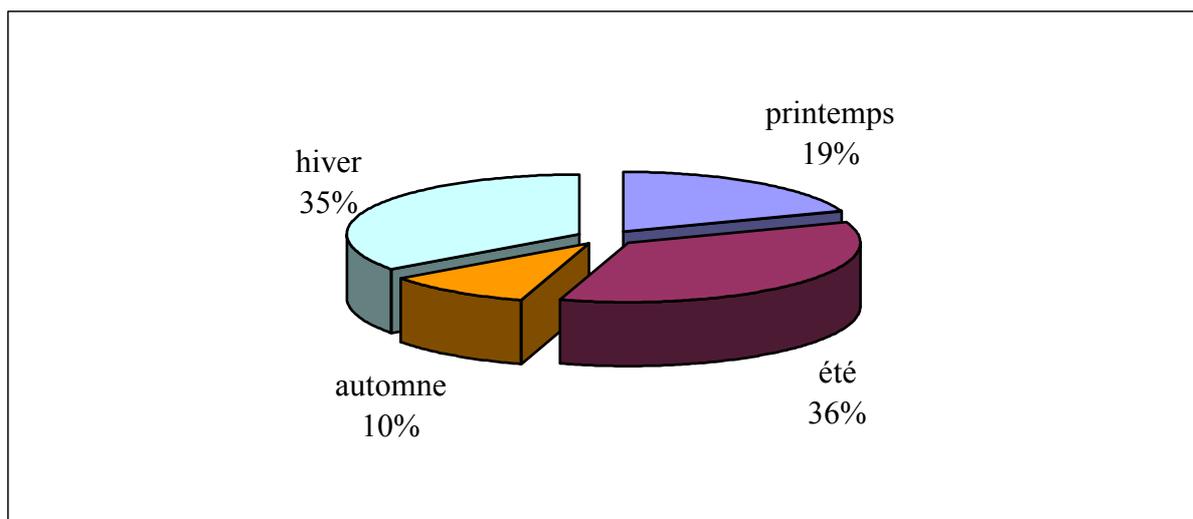


Fig. 63 : Répartition saisonnière des départs de feu dans les Alpes-Maritimes (1973-2003)

N. HESSAS, 2005

De 1980 à 1994, selon BOUSSET (1998), les feux d’hiver étaient plus élevés que les feux d’été. L’auteur indique que l’hiver est la première saison de déclenchement des incendies avec 39% des sinistres alors que les mois d’été ne représentent que 33%. Dans notre cas, le contraire se présente mais avec une différence de 1%. 2 070 départs de feux d’été sont enregistrés contre 2 040 en hiver. Les saisons intermédiaires sont nettement moins sensibles : les feux relativement rares qui y éclosent peuvent toucher tout le département mais le plus souvent ne représentent dans chaque commune qu’une faible proportion des sinistres.

2-1-2-1-Evolution des incendies en fonction des précipitations et des températures

Dans les Alpes-Maritimes, la présence de la Méditerranée se fait indubitablement sentir mais le département connaît une pluviométrie relativement importante qui n’est pas répartie de façon homogène dans le temps. Les précipitations de l’automne et du printemps au total plus abondantes sont capables de fournir en quelques heures plus d’eau qu’il n’en est tombé durant tout l’été. Les précipitations tombent en peu de jours (d’où des totaux quotidiens souvent élevés). Sur le littoral, le climat comporte en effet toutes les caractéristiques du climat méditerranéen : hivers particulièrement doux qui ont fait la réputation de la Cote d’Azur et un été chaud et sec.

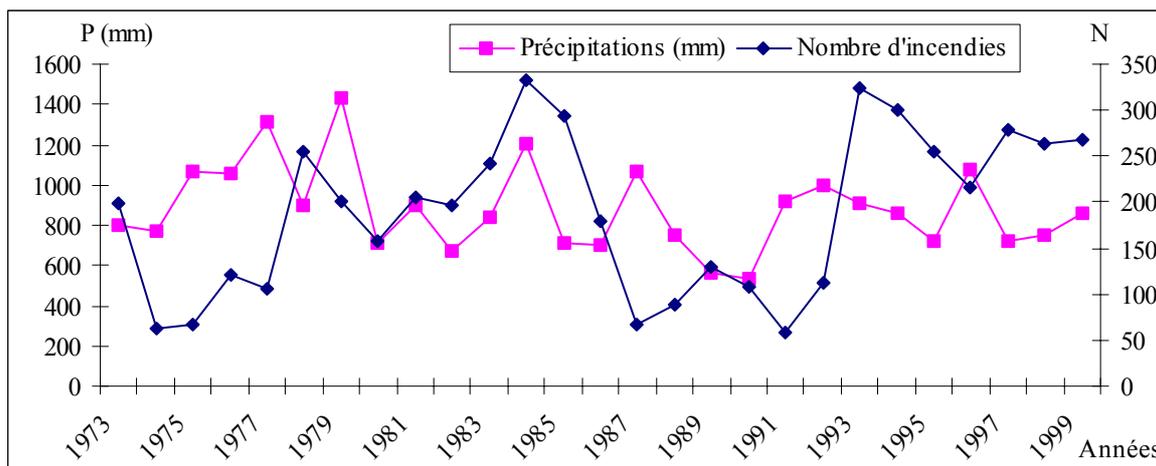


Fig. 64 : Evolution du nombre d'incendies de forêts et des précipitations dans le département des Alpes-Maritimes

Source : Météo France
Réalisation : N. HESSAS, 2005

La sécheresse est tenue coupable dans le déclenchement du feu ; certes, elle intervient dans la propagation mais la figure tracée ci-dessus ne confirme pas la règle. D'une part les précipitations élevées diminuent le nombre de feux pour certaines années. D'autre fois, c'est le contraire qui est observé. La pluie joue le rôle de ralentisseur. Avec un sol humide et un végétal présentant une humidité élevée le déclenchement du feu et sa propagation sont retardés. D'après MOL et KÜCÜKOSMANOGLU (1997) la plupart des incendies en Turquie se produisent dans les régions où le climat est méditerranéen, caractérisé par des températures élevées et des précipitations faibles à inexistantes. L'hypothèse sur laquelle on doit s'appuyer est que quand le climat ne joue pas le rôle de déclencheur du feu ; c'est la cause humaine qui est à vérifier.

2-1-2-2-Comparaison des feux d'hiver et d'été dans les communes des Alpes-Maritimes : influence de la situation géographique sur les feux d'été et les feux d'hiver

L'analyse cartographique des incendies étalés sur une longue période significative distinguera la répartition des feux d'été et d'hiver sur tout le département pour 162 communes. La période de déclenchement des feux est également un facteur de différenciation notable.

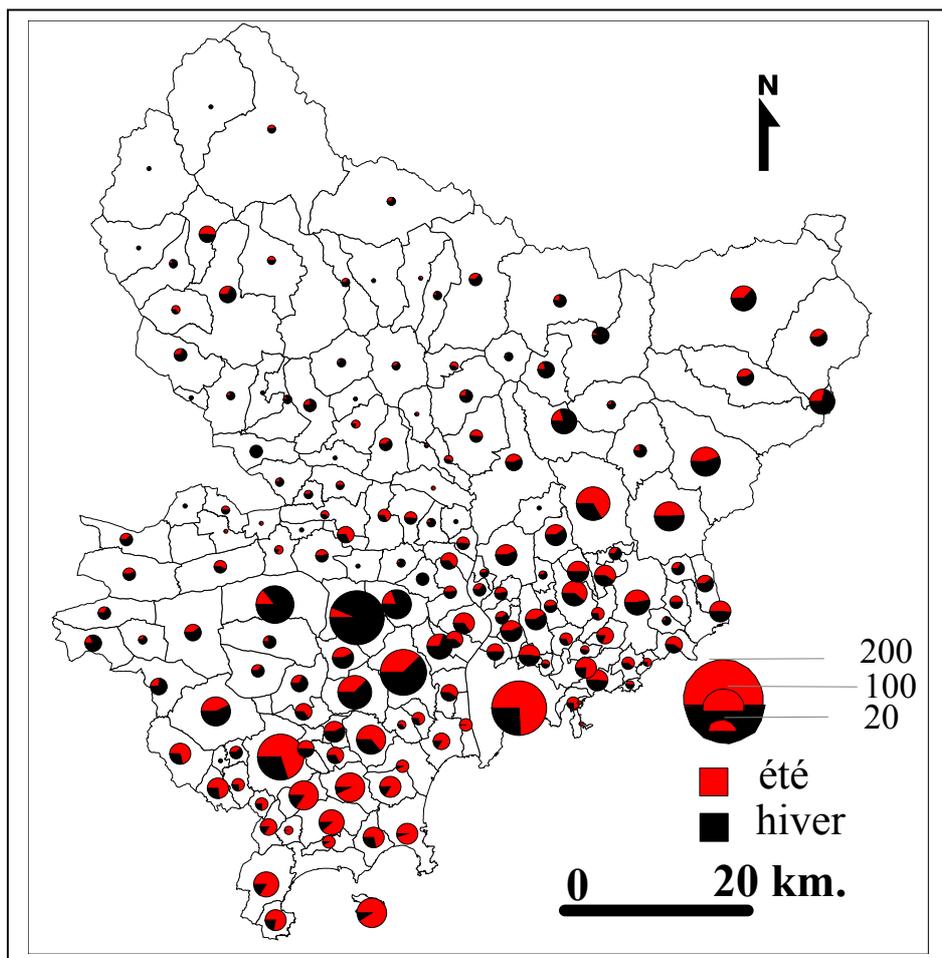


Fig. 65 : Répartition du nombre de feux par saisons (hiver et été).

Source : SDIS, Prométhée
Réalisation : N. HESSAS, 2005

Aux incendies estivaux s’ajoutent les hivernaux avec une proportion semblable parfois même élevée dans certaines communes. Les feux d’été enregistrés depuis trente ans sont importants mais ceux d’hiver ne sont pas négligeables. Dans certaines communes, ils dominent comme à Coursegoules,.... surtout présents dans l’arrière pays niçois. Si les incendies d’été surviennent plutôt sur le littoral, les feux d’hiver touchent bien davantage les zones montagneuses du département et l’intérieur : le quart Nord-Ouest du département où les feux sont rares mais concentrés sur cette période. Ces incendies, en période estivale, se produisent à peu près partout. Entre Méditerranée et haute montagne se trouve un climat de transition où les influences méditerranéennes s’estompent progressivement vers le Nord. Globalement les précipitations sont plus abondantes dans la partie Ouest du département : 1 361 millimètres à Andon, par exemple où en outre les hivers sont déjà très rigoureux avec à peine 1,3 °C en janvier. A l’autre bout du département Breil-Sur-Roya offre un autre exemple de ces climats de transition. Située à 320 mètres d’altitude, la commune connaît des

précipitations supérieures à un mètre, les hivers y sont assez froids avec 5,8 °C en janvier et quelques 80 jours de gel mais le déficit pluviométrique en été est marqué et, pendant cette période, la chaleur peut être importante puisque la moyenne de juillet monte à 22 °C. Sachant que sur 102 feux, 42 sont d'hiver et 34 d'été. De même que pour Andon ce sont les feux d'hiver qui dominent : sur 33 feux toutes saisons confondues 15 sont d'hiver et 10 sont d'été.

Les incendies hivernaux sont liés à des dérapages de feux pastoraux qui se produisent de plus en plus fréquemment du fait de l'embroussaillage croissant du milieu. Le feu pastoral, aussi dénommé localement « écobuage », est en effet un outil ancien de gestion des parcours (METAILIE, 1981 ; BUFFIERE et *al.*, 1992 et LEOUFFRE et LECLERC, 1995), encore aujourd'hui couramment utilisé car il représente un moyen économique de réduire l'embroussaillage sur de grandes surfaces. Donc, ces incendies d'hiver ont pour origine les travaux à vocation agricole, pastorale et forestière : le feu, souvent allumé lors d'écobuages, d'incinération de déchets végétaux se transmet accidentellement aux forêts et se propage facilement après une longue période d'absence de pluie. Les pertes par respiration hivernale se présentent lorsqu'une brusque élévation de température stimule la transpiration des plantes sans activités photosynthétiques correspondantes. Plus le gel est intense, plus l'accroissement de la respiration est marqué. En 1989, selon Météo France, 30 jours de gelées sont observés dans les Alpes-Maritimes. La végétation est devenue très sensible donc très facilement inflammable. D'après GOURIN (1999) le département de l'Ardèche connaît deux saisons de feux bien distinctes :

- l'été, avec 37 % du nombre de feux en moyenne et 33 % de la surface brûlées en juillet et août ;
- le printemps, avec 25 % du nombre de feux et de la surface brûlées en mars et avril. Les communes où les feux sont majoritaires au printemps sont presque toutes situées dans les Hautes Cévennes. Ici, l'origine des feux est principalement liée aux travaux agricoles et forestiers, dont l'écobuage.

Quelle que soit la saison de l'apparition de ces incendies, des conséquences graves peuvent s'ensuivre, notamment lorsqu'ils se développent sur des sols fortement sujets à érosion (COMBES, 1990). Dans les Alpes-Maritimes, de tels types de sols se rencontrent fréquemment et d'ailleurs depuis la fin du siècle dernier de nombreux reboisements ont été réalisés dans le cadre de la restauration des terrains de montagne.

La répartition saisonnière des départs de feu confirme évidemment que l'été est la période sensible par excellence mais que les incendies peuvent intervenir toute l'année. Les secteurs proches du littoral sont très sensibles en été, alors que les feux d'hiver ou des saisons intermédiaires affectent davantage l'intérieur.

2-1-3-Répartition des éclosions de départs de feux enregistrées selon les heures de jour comme de nuit

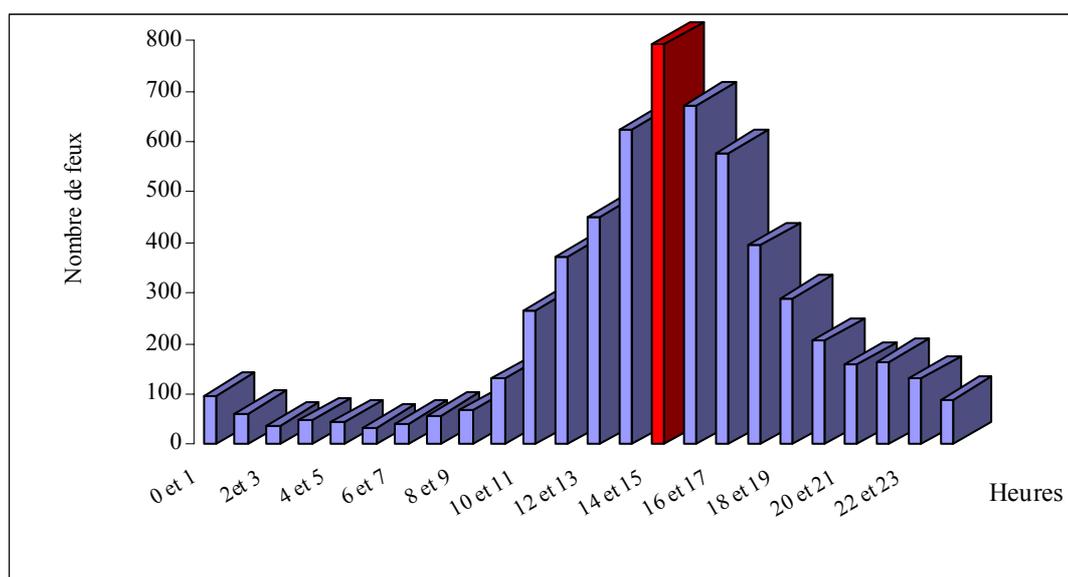


Fig. 66 : Nombre de feux éclos selon les heures de 1973 à 2003, dans le département des Alpes-Maritimes.

Source : Prométhée
N. HESSAS, 2005

Le feu peut éclorre à toute heure, conclusion tirée d'une observation de trente années. Dans tout le département et sur cette longue période le nombre de feux éclos atteint son maximum entre 14 et 15 heures. A partir de 10 heures, la journée commence à être chaude et sèche après une succession de jours ensoleillés. La durée d'ensoleillement atteint 3 000 heures par an sur le littoral et partout où les montagnes et collines ont une orientation Ouest-Est très rigoureuse, qui crée des microclimats d'adret très secs dans des situations d'abri au vent. On observe également des zones de fort ensoleillement, et de plus faible pluviométrie. L'insolation joue un rôle important. La végétation fragile, connaît une forte évaporation. La moindre étincelle rend par la suite le feu incontrôlable. L'étude du nombre de feux en fonction des heures conduit l'hypothèse que la majorité des incendies sont dus à une

malveillance totale. La grande majorité des feux de forêts sont déclenchés à la suite d'une action humaine, criminelle, très souvent, ou accidentelle. Après 17 heures, on assiste à une diminution d'incendies, mais néanmoins le feu est présent pendant toutes les heures de jour comme de nuit. L'été 2003 a enregistré des températures allant de 37,8 °C à 41,8 °C qui se produisent généralement entre 17 heures et 18 heures (NG, 2003 et Libération.fr). Ces fortes chaleurs ne favorisent pas seulement la reprise des incendies mais entraînent des pics de pollution et c'est à ces mêmes heures que le feu est souvent déclenché par l'Homme. En résumé, tout cela dépend du rapport qu'entretient l'homme, dans son occupation des sols, avec le massif forestier. Par exemple, en maints endroits, la déprise agricole a fait disparaître les discontinuités que constituaient les espaces cultivés ; dans le même temps, l'extension des zones urbanisées atteint les abords des zones boisées. Il est intéressant de souligner que s'il est agréable de vivre dans un environnement végétal, cela suppose que, pour une protection efficace contre les feux de forêts, soient prises des mesures adéquates, tant générales par la collectivité, qu'individuelles par les résidents.

2-2-Probabilité d'occurrence spatiale

L'occurrence spatiale prend en compte d'une part, la probabilité qu'un feu se déclenche à un endroit donné (aléa d'éclosion) et d'autre part la possibilité que le feu se propage à partir de ce point (aléa de propagation).

2-2-1-Aléa d'éclosion : calcul de la probabilité qu'un feu se déclenche à un endroit donné

Contrairement aux autres phénomènes naturels, les feux peuvent théoriquement éclore en n'importe quel point de l'espace (dans les zones recouvertes de végétation). La probabilité d'éclosion correspond à la probabilité de départ de feu en un lieu donné et en un temps donné. Elle dépend essentiellement de l'inflammabilité (de la matière végétale) et de la présence d'une source d'énergie (d'une étincelle). Elle peut être appréhendée statistiquement en prenant en compte les paramètres historiques ou les conditions de références.

La probabilité d'éclosion s'exprime généralement en nombre de feux par unité de temps et par unité de surface

$$\text{Probabilité d'éclosion} = \text{Nombre de feux} / \text{an} / \text{km}^2$$

Le calcul de la pression de mise à feu a été réalisé en 3 étapes sur l'ensemble du département des Alpes-Maritimes :

- 1- calcul du nombre total de départs de feux de forêts dans chaque commune ;
- 2- représentation et calcul de la surface combustible par commune ;
- 3- calcul du nombre total de feu de l'espace rural et périurbain par commune.

2-2-1-1-Nombre de feux de forêts éclos par an dans chaque commune

Ce nombre caractérise la proportion annuelle de départs de feux auxquels sont soumis les espaces naturels de chaque commune. Il est calculé à partir de données contenues dans Prométhée, étendues à la période 1973 – 2003 ; l'analyse thématique est réalisée sous le logiciel Map info.

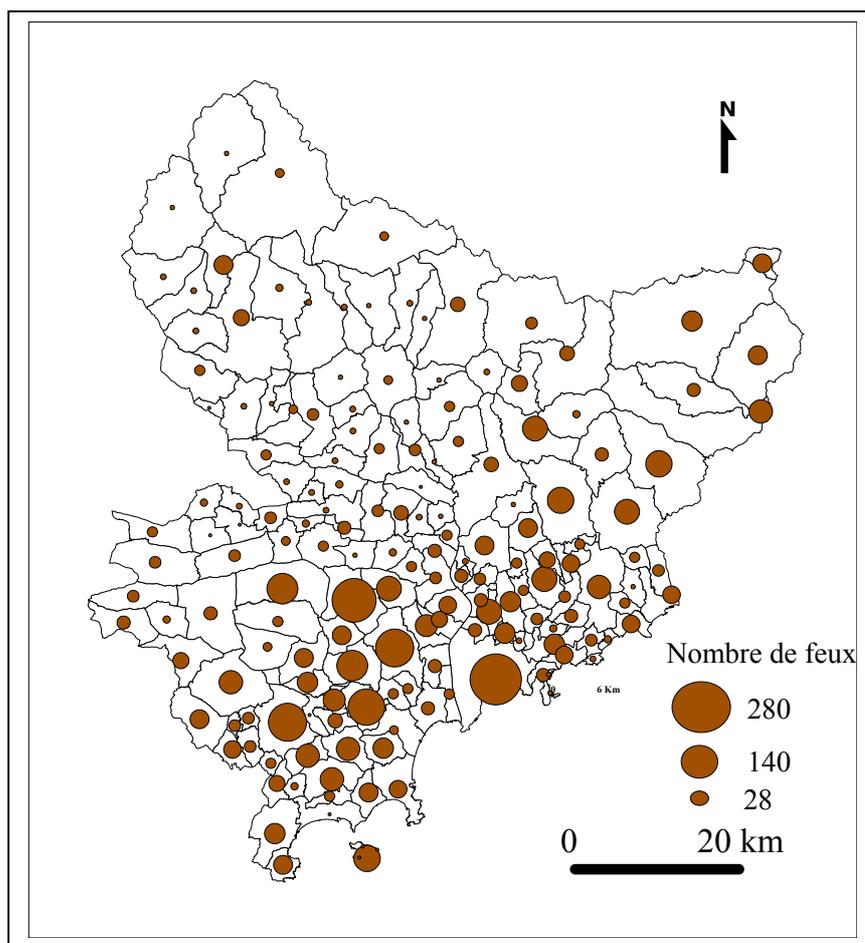


Fig. 67 : Le nombre de départs de feux de forêts par communes dans le département des Alpes-Maritimes de 1973-2003.

Source : SDIS, Prométhée
Réalisation : N. HESSAS, 2005

L'étude de la répartition géographique des incendies, figure 67, montre qu'aucune des communes n'échappe au fléau. Le nombre de feux, en augmentation régulière au Sud-Ouest, diminue considérablement vers le Nord-Est. C'est la commune de Nice qui détient le record des départs de feux avec 279 feux (soit une moyenne annuelle de 9,3 incendies environ), juste devant Coursegoules où ont été recensés 213 feux. Comme le montre la carte, ces deux communes sont les seules à avoir franchi la barre des 200 incendies. Au total, dans ce département, 6 communes ont connu plus de cent sinistres pour la période allant de 1973 à 2003. Il s'agit des communes les plus peuplées (cf. figure 17) et les plus visitées. L'exode rural, largement illustré dans le département des Alpes-Maritimes, se traduit dans un premier temps par une diminution des mises à feu liées à l'agriculture, aux travaux forestiers et à l'élevage. Dans un deuxième temps, tout porte à croire que la déprise rurale, facteur de

développement des friches et de fermeture des paysages, pourrait augmenter les surfaces incendiées de manière spectaculaire.

2-2-1-2-Fréquence des nombres de feux en corrélation avec les surfaces brûlées

La figure suivante nous montre en détail les proportions de départs de feux et de surfaces brûlées.

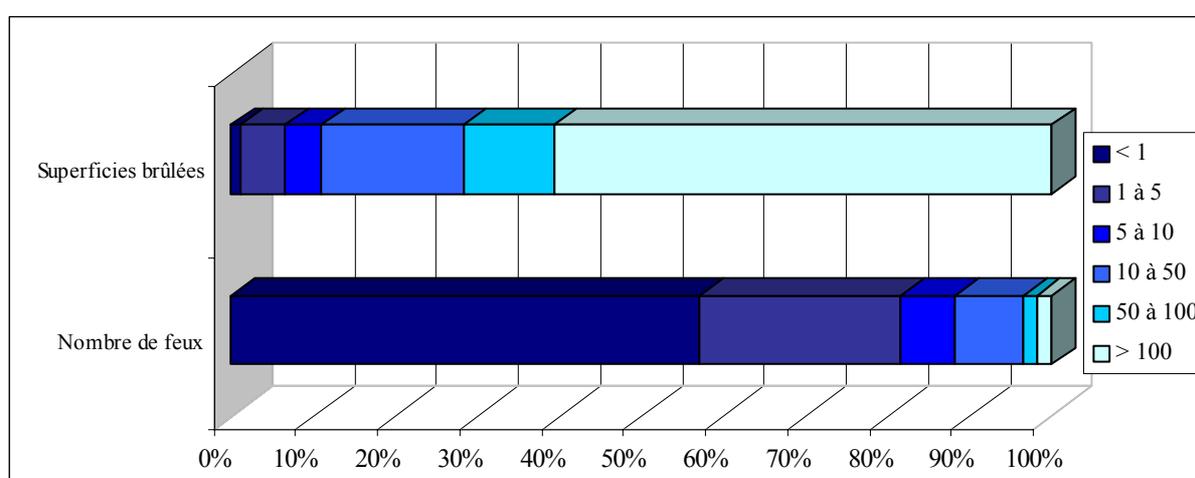


Fig. 68 : Corrélation entre les départs de feux et les surfaces brûlées

Source : Prométhée
Réalisation : N. HESSAS, 2005

La probabilité des sinistres est beaucoup plus importante pour les surfaces de moins de un hectare. Dans ce contexte, l'action des pompiers ne peut concourir à réduire le nombre d'incendies, mais contribuer uniquement à contenir l'extension et l'impact des zones incendiées. Sur l'ensemble du territoire plus de 50 % des feux concernent des surfaces de moins de un hectare. Les conditions climatiques favorisent le risque d'éclosion puis de propagation des feux pendant l'été méditerranéen, chaud, sec et venté. Les températures de l'air, élevées en juillet et août, associées aux faibles précipitations, placent la végétation dans un état de stress hydrique plus ou moins sévère selon les années. Le mistral, vent de Nord-Nord-Ouest dominant dans la région, connaît son maximum de fréquence en été, ce qui amplifie d'abord le dessèchement des végétaux, puis ensuite et surtout aggrave la propagation, c'est-à-dire l'extension des grands feux. Les contraintes naturelles favorisant le

feu ne suffisent pas à expliquer le grand nombre d'éclosions certaines années et l'importance des surfaces brûlées. Les conditions anthropiques sont en effet prépondérantes. Plus de 90 % des incendies sont d'origine humaine. Ce sont avant tout les imprudences, les accidents qui sont à l'origine d'un feu. Au niveau des surfaces brûlées, la malveillance pèse davantage, car si une mise à feu est volontaire, elle est pensée pour faire le plus de dégâts possible, donc au moment des conditions extrêmes (de nuit et / ou lors des grands feux déjà en cours et / ou sous vent très fort,...). Mais tout simplement, l'usage fait par les sociétés des espaces forestiers aujourd'hui menace ces mêmes espaces : la fréquentation des massifs, le mitage de la forêt par l'habitat diffus, sont responsables de la majorité des feux. Durant tout l'été, la forêt est étroitement surveillée : des tours de guet aux patrouilles forestières, tout concourt à maximiser l'efficacité du prédispositionnement des hommes et du matériel en forêt en cas de risque météorologique sévère voire très sévère. C'est la politique de l'attaque du feu naissant que défend la sécurité civile. Pour avoir le plus de chance d'éteindre un feu et empêcher son déroulement, c'est-à-dire éviter qu'il n'échappe au contrôle et devienne un énorme sinistre, il faut intervenir dans les premières minutes après l'éclosion. Ceci demande des efforts en moyens humains et financiers importants, et de plus mobilise les compétences de nombreuses spécialités en dehors des pompiers : météorologues, forestiers, physiciens, et bien d'autres....

2-2-1-3-Surface combustible par commune

Elle est calculée sur la base d'éléments réalisés à partir de Corine Land Cover en regroupant tous les peuplements à l'exception « des prairies », « des pelouses et pâturages naturels », « du tissu urbain discontinu » et « de la végétation clair semée ».

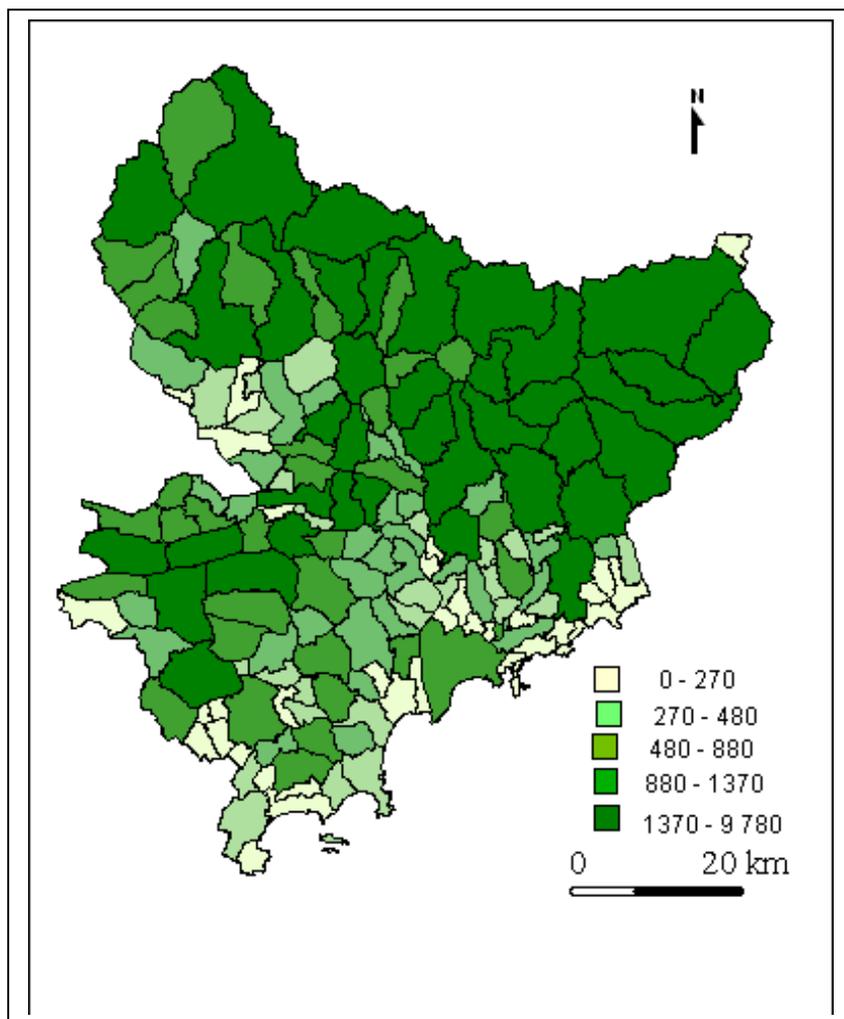


Fig. 69 : Surface combustible par communes du département des Alpes-Maritimes

Source : Corinne Land Cover et IFN, 2003

Conception : N.HESSAS, 2005

On observe sur la carte, ci-dessus, que dans les Alpes-Maritimes, l'espace combustible représente plus de la moitié de la surface départementale, soit 52,34 % avec cependant de fortes disparités (IFN, 2004). Au Nord, dans la région de la Haute Tinée, la forêt est composée essentiellement de conifères. A l'étage subalpin, on trouve le mélèze sur une surface de 100 000 ha. Le sapin et l'épicéa sont rares (sécheresse du climat). Les feuillus quant à eux n'occupent qu'une surface de 1 600 ha. Dans la partie Nord-Est, le taux de boisement de 60,9 %, est légèrement supérieur à la moyenne départementale. Les conifères y sont prépondérants et forment 85% du peuplement forestier. Le pin sylvestre est l'essence principale. Les sapins et les pessières abondent. Les feuillus plus abondants vers l'est, représentés par le chêne pubescent et le chêne vert, n'occupent que 15 % du territoire boisé. On trouve le châtaignier dans la vallée de la Roya et le charme-houblon dans les fonds des vallées. Au Sud, plusieurs communes présentent un espace boisé très faible ou absent. La

région forestière de coteaux de Grasse et de Nice a le taux de boisement le moins élevé du département. C'est une région urbanisée. Les forêts de pins sont envahies de constructions. Les garrigues tiennent une place importante.

2-2-1-4-Nombre de feux autres que sylvestres dans l'espace rural et périurbain des Alpes-Maritimes entre 1973 et 2003 : classement par types de dommages

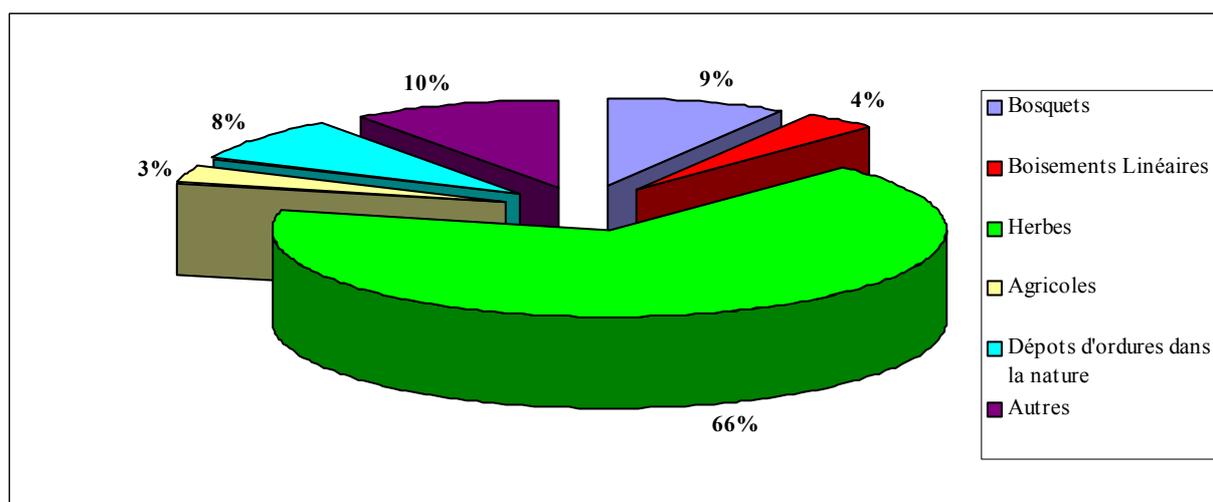


Fig. 70 : Les proportions des autres feux dans l'espace rural et périurbain dans les Alpes-Maritimes, entre 1973 et 2003.

Source : Prométhée
Réalisation : N. HESSAS, 2005

Par types de dommages ce sont les feux d'herbes qui dominent. Ils ont représenté 66 % des éclosions. Les dépôts d'ordures dans la nature viennent en troisième position après les autres types de feux indéterminés et bosquets avec 8 % des éclosions. La catégorie « dépôts d'ordures » est une cause récurrente de feux de forêts dont l'origine est parfaitement localisée et qui génère un nombre très élevé d'interventions des sapeurs pompiers en été, mobilisant des moyens qui peuvent faire défaut ailleurs. Un déchet se définit d'après la loi du 15 juillet 1975 comme tout résidu d'un processus de production, de transformation et d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble, abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. On distingue les ordures ménagères, les déchets encombrants, les déchets ménagers spéciaux, les déchets d'origine commerciale et artisanale, les déchets industriels (PLAN DEPARTEMENTAL DE PREVENTION CONTRE LES INCENDIES DE FORETS, 1999). Les problèmes posés par les dépôts d'ordures dans l'optique

de la prévention contre les feux de forêt, sont liés d'une part au nombre important d'interventions des services de lutte ce qui mobilise des moyens de secours qui peuvent faire défaut en été, et d'autre part au risque de propagation du feu de dépôts d'ordures vers les espaces boisés voisins. La loi impose aux communes d'organiser sur leurs territoires, soit directement soit par l'intermédiaire de leurs groupements, un service d'élimination des déchets des ménages. Ce service concerne aussi les déchets d'origine autre qui, eu égard à leurs caractéristiques et aux quantités produites, peuvent être éliminés sans sujétions techniques particulières et sans risques pour les personnes et l'environnement, dans les mêmes conditions que les déchets des ménages.

Sur 30 ans, de 1973 à 2003, on a noté près de 10 843 incendies dans l'espace rural et périurbain. Les catégories présentant les effectifs les plus importants sont les feux d'herbes et les feux de dépôts d'ordures dans la nature. Les autres catégories sont moins représentées. Toutes les communes recensées pour ce type de feux présentent un nombre très élevé de feux d'herbes. Les feux agricoles ne sont estimés qu'à 3 %.

2-2-1-4-1-Variation des feux périurbains de 1973 à 2003

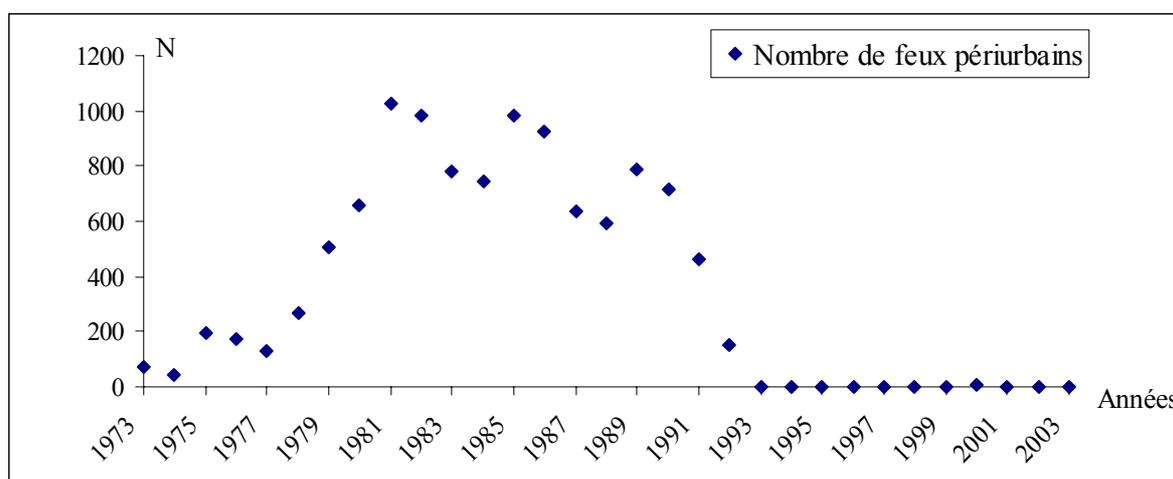


Fig. 71 : Présence et absence de feux périurbains dans les Alpes-Maritimes

Source : Prométhée
Réalisation : N. HESSAS, 2005

Les feux périurbains selon cette figure représentent un nombre élevé à partir de 1975. On enregistre jusqu'à 1 000 départs par an. Grâce à un meilleur aménagement, ces feux sont quasiment nuls à partir de 1992.

2-2-1-4-2-Calcul du nombre total de feux dans l'espace périurbain ; répartition géographique par commune dans le département des Alpes-Maritimes

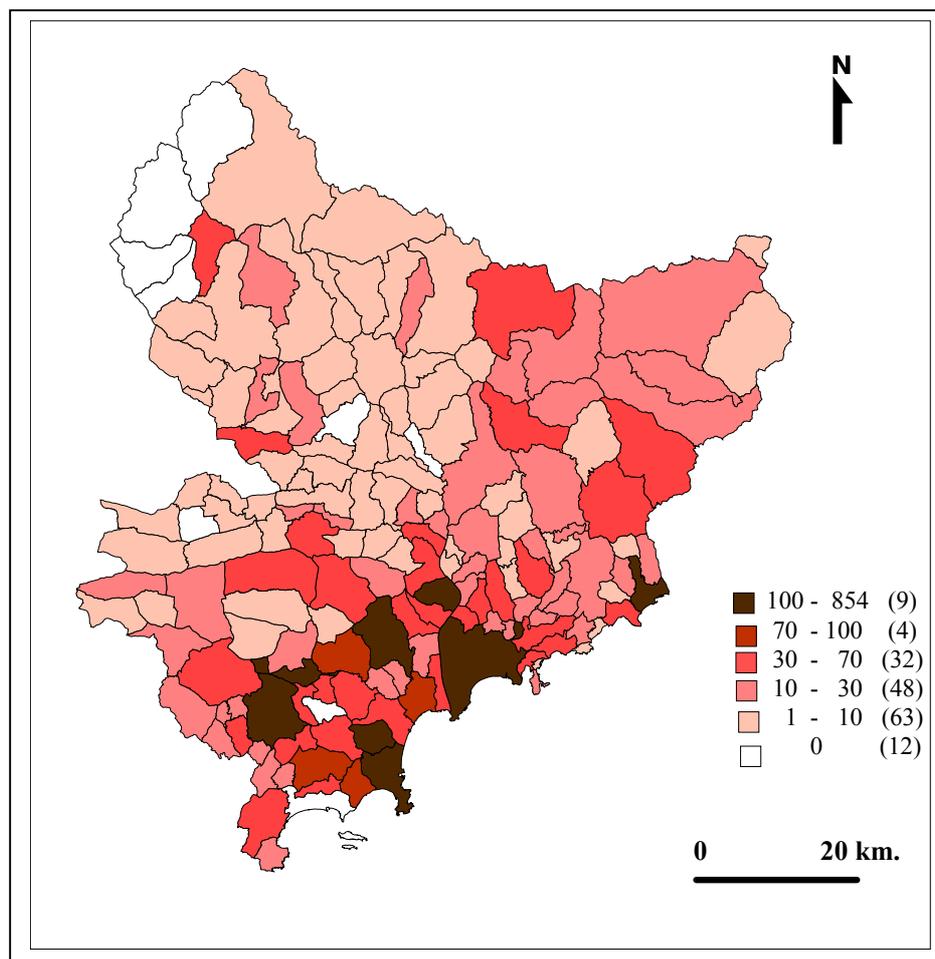


Fig. 72 : le nombre de feux dans l'espace périurbain par commune du département des Alpes-Maritimes de 1973 à 2003.

Source : SDIS, Prométhée
Réalisation : N. HESSAS, 2005

On remarque comme dans toutes les cartes analysées une nette opposition Sud-Est et Nord-Ouest en ce qui concerne les feux de cette catégorie. Ces derniers se localisent le long des Alpes niçoises où le nombre d'habitants et de touristes par commune est plus élevé que dans les zones de montagne du Nord-Ouest du département. La prise en considération des feux de l'espace périurbain va permettre de tenir compte d'une possible dérive de ces feux en incendies de forêt. D'ailleurs, ce sont les mêmes communes qui présentent le nombre de feux périurbains élevé, qui ont aussi les feux de forêts élevés.

2-2-2-Aléa de propagation : probabilité qu'a un incendie de se propager après la moindre étincelle

La probabilité d'incendie est la probabilité qu'a le feu de se propager en un lieu donné, quelque soit son lieu d'éclosion.

2-2-2-1-Risque moyen annuel RMA

Il est défini par la surface totale parcourue par le feu en moyenne chaque année. Il donne une idée de la période au terme de laquelle l'ensemble de la surface combustible du massif aura été parcourue. C'est un des indicateurs du risque feu de forêt, établi par l'équipe du CEMAGREF

Le risque moyen annuel se calcule comme suit :

$$\text{RMA} = 100 \times \text{SMI} / \text{SCM}$$

SMI : Surface Moyenne Incendiée

$$\text{SMI} = \text{STI} / \text{N}$$

STI : Surface Totale Incendiée au cours des « **N = 30** » années.

SCM : Surface Combustible du Milieu : elle comprend forêts, garrigues, landes et maquis. Pour chiffrer la surface de chacune de ces formations combustibles, on a utilisé les données de l'Inventaire Forestier National (IFN, 2002).

STI (ha)	SMI (ha)	SCM (ha)	RMA
59 115	1 970,5	429 390	0,46

Le département des Alpes-Maritimes est caractérisé par un risque moyen de 0,46 %. Il serait préférable de le faire pour chaque commune pour connaître la variation dans tout le département. Selon le CEMAGREF (2000) un RMA de 1% implique, pour une parcelle, une probabilité de 1 sur 100 de brûler dans l'année en moyenne. En région méditerranéenne, un

RMA de 4 à 8 %, laisse supposer que le massif sera totalement parcouru dans un délai de 12 à 25 ans, ce qui correspond à un risque très élevé. Selon NOUAR (2002), dans le département de la Drôme, cet indicateur varie de 0 à 4,4 %. Toutefois la quasi-totalité des communes sont caractérisées par un risque moyen annuel faible ($RMA \leq 1\%$). On peut s'appuyer sur le RMA pour déterminer une nature et une densité d'équipements proportionnées à l'intensité du risque, et pour fixer un ordre de priorité de réalisations.

Le nombre des incendies est un bon indicateur de l'efficacité de la prévention. Mais il ne distingue pas les grands incendies des petits. Il ne permet pas d'apprécier la gravité totale des incendies d'une année. C'est donc à la superficie brûlée que l'on se réfère normalement.

2-2-2-2-Surfaces totales parcourues par le feu par an pendant trois décennies dans les Alpes-Maritimes

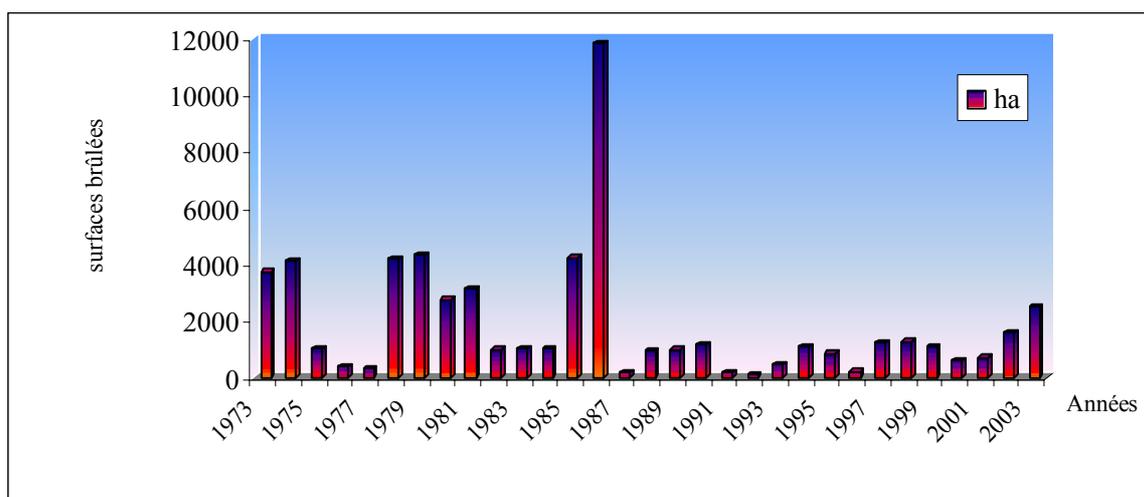


Fig. 73 : Trente années de surfaces brûlées dans le département des Alpes Maritimes

Source : Prométhée
N. HESSAS, 2005

Sur trente années, 59 115 hectares ont brûlé dans les Alpes-Maritimes avec 6 337 feux. Ceci représente 206 incendies sur 1 970,5 hectares détruits par an. Ce département reste extrêmement sensible. La surface totale brûlée diffère d'une année à une autre. On constate une forte variation interannuelle de ces superficies brûlées : de quelques hectares comme en 1987, 1991, 1992, jusqu'à plus de 11 000 hectares en 1986. Comme pour la période 2003, il n'y a pas forcément de corrélation entre le nombre de départs de feux et les superficies

incendiées. Les surfaces brûlées rencontrées, toutes communes confondues, pendant cette longue période varient de 0,001 hectares à 3 402 hectares par feu (par jour, par semaine et par mois selon la durée de l'extinction). Cette dispersion est due à plusieurs facteurs : la surface est faible lorsqu'elle est liée à l'intervention rapide des pompiers, à l'accessibilité facile à l'amélioration des conditions d'accès et à l'utilisation de moyens plus efficaces. Elle est élevée lorsque le contraire se présente et en cas de sécheresse et de jour venté. La figure 73 montre que le bilan des surfaces incendiées est marqué par quelques années catastrophiques, la plus spectaculaire étant 1986, une année noire où le département a perdu 11 833,7 hectares de forêts avant de connaître dès l'année suivante une saison particulièrement calme avec des dégâts soixante dix fois moindres.

2-2-2-3-Evolution de la répartition mensuelle des surfaces brûlées

L'analyse de la répartition saisonnière des incendies, départs et superficies brûlées, révèle en fait une situation plus contrastée que prévue.

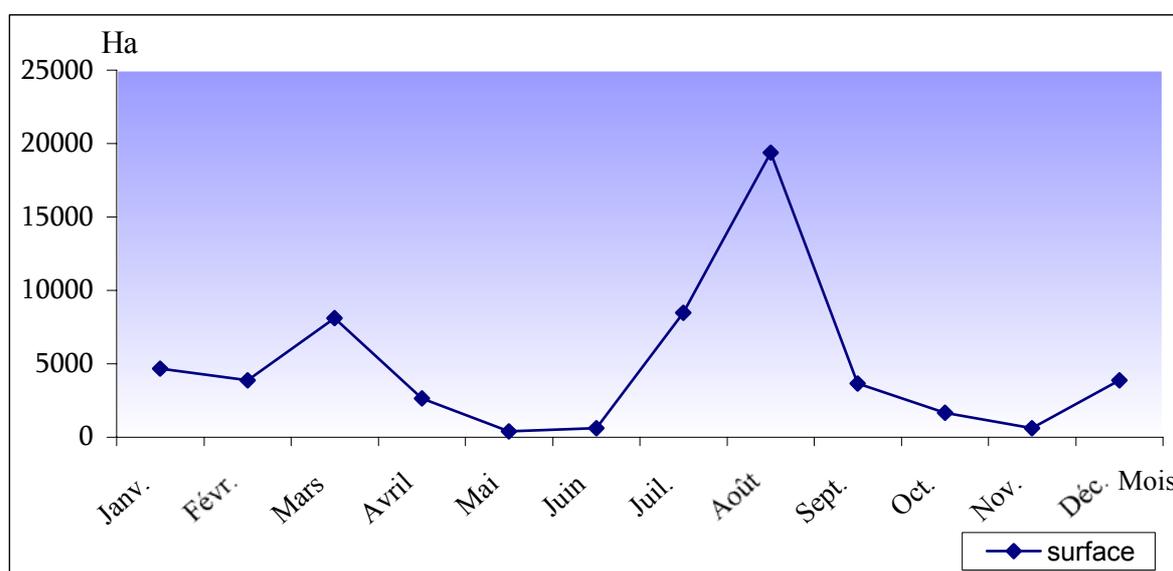


Fig. 74 : Surfaces brûlées réparties par mois de 1973 à 2003

Source : Prométhée
Réalisation : N. HESSAS, 2005

Les incendies sont concentrés dans l'espace et dans le temps. En effet la répartition saisonnière des surfaces brûlées est beaucoup plus visible que celle des départs de feux. La figure ci-dessus révèle que les gros sinistres se produisent l'été alors que cette saison ne

représente que 36 % des départs de feu. Les incendies sont donc beaucoup plus meurtriers en été. Les mises à feu pendant les autres saisons ont nettement moins de chance de dégénérer. C'est le cas en automne où malgré 10 % des départs de feux, les superficies brûlées sont faibles.

La répartition des surfaces brûlées de 1973 à 2003 en fonction des mois de l'année n'est pas homogène. Elle est beaucoup plus concentrée en été, notamment pour les mois de juillet et août. Avec une pointe pour le mois d'août, expliquée par les conditions météorologiques suivies par le stress hydrique des végétaux ainsi que l'augmentation de la population et des touristes dont le nombre varie entre 8 millions et 11 millions par an dans le département (cf. tableau n° 12 et figure 17). L'interface entre habitat et forêt en augmentation est en relation étroite avec les incendies d'été recensés, causés par l'habitant ou par des étrangers (touristes et visiteurs). L'été est la période propice aux développements des grands feux : en juillet et août la superficie moyenne par incendie dépasse 10 hectares. Tout au long du printemps et de l'été, la forte hyperthermie accélère le dessèchement engendré par l'absence de précipitations. Les mois de juin et juillet présentent à cet égard une rapidité de dessèchement remarquable. Juillet et surtout août connaissent de grandes chaleurs, qui se traduisent par le dépassement de nombreux records thermiques, avec deux conséquences majeures : l'aggravation de l'état de sécheresse et des conditions propices au déclenchement d'importants feux de forêts. Vu l'état de la végétation, des surfaces importantes sont envahies. La vitesse de propagation est élevée même par vent faible et les conditions sont aggravées dans les zones de montagne, où le régime des brises thermiques est très élevé. L'épisode pluvio - orageux dès la fin août apporte un premier soulagement, mais les pluies faibles n'apportent qu'un répit passager. En région méditerranéenne française, les précipitations les plus agressives surviennent plutôt en fin d'été. Des études sur les premières pluies après incendies et sur la sécheresse en milieux méditerranéens montrent que ces sols très fragiles et faibles en éléments minéraux, sont très sensibles à l'érosion (LAVABRE et *al.*, 1997, LAVABRE et ANDREASSIAN, 2000).

Indépendamment des incendies de l'été 2003, les forêts du monde entier souffrent de la canicule et de la sécheresse à divers titres et il est impossible d'évaluer à ce jour l'ampleur des dommages. La canicule et la sécheresse sont deux phénomènes à la fois concomitants et complémentaires qui affectent les forêts. L'importance de la sécheresse semble avoir eu un rôle majeur dans la vitesse de la propagation des feux qui ont embrasé les massifs forestiers.

Les espèces végétales des forêts du Sud-Est, soumises souvent au double stress de la canicule et de sécheresse, sont particulièrement sensibles aux feux. En 2003, les pompiers ont constaté que la vitesse du feu avait été deux fois plus élevée qu'auparavant. En peu de temps les feux atteignent de grandes surfaces (Com. pers., SDIS). Les figures suivantes présentent les grands feux recensés dans le département des Alpes-Maritimes. On constate que sur trente années 14 sont des feux d'hiver et surtout déclenchés dans la journée. Il s'agit sûrement de dérapages de feux par écobuage (CHAUMONTET, 1988 ; LAMBERT ; 1999 ; METAILIE ; 1981 et 1999 et RIVALIN, 1999).

La répartition saisonnière des incendies confirme donc amplement la complexité du phénomène. La végétation est également vulnérable en hiver. En fait toute l'année est potentiellement dangereuse même si les saisons intermédiaires, souvent les plus humides, sont généralement moins affectées.

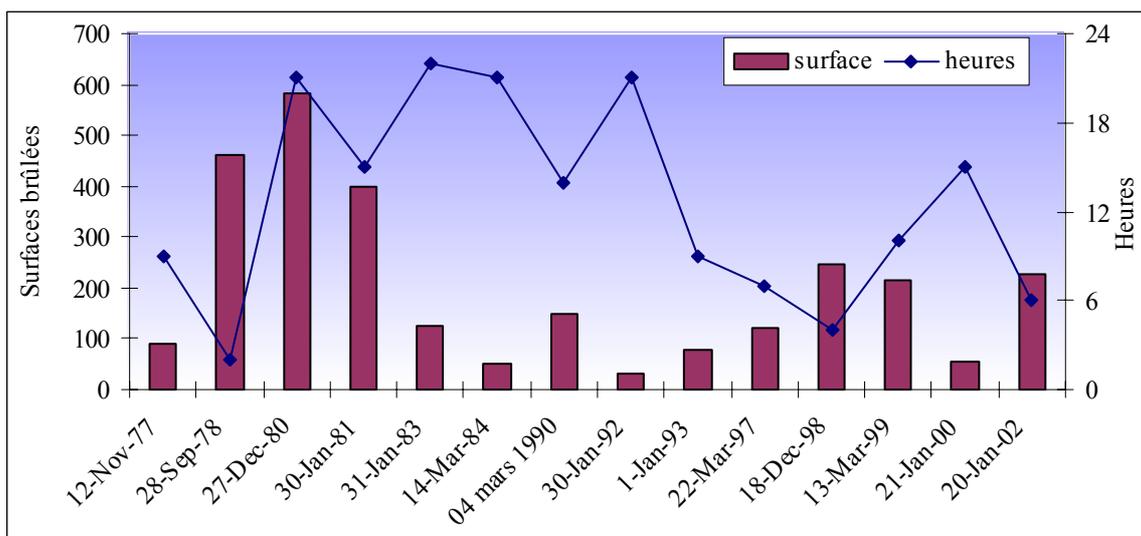


Fig. 75 : Les grands feux d'hiver enregistrés dans le département des Alpes- Maritimes
 Source : Prométhée
 Réalisation : N. HESSAS, 2005

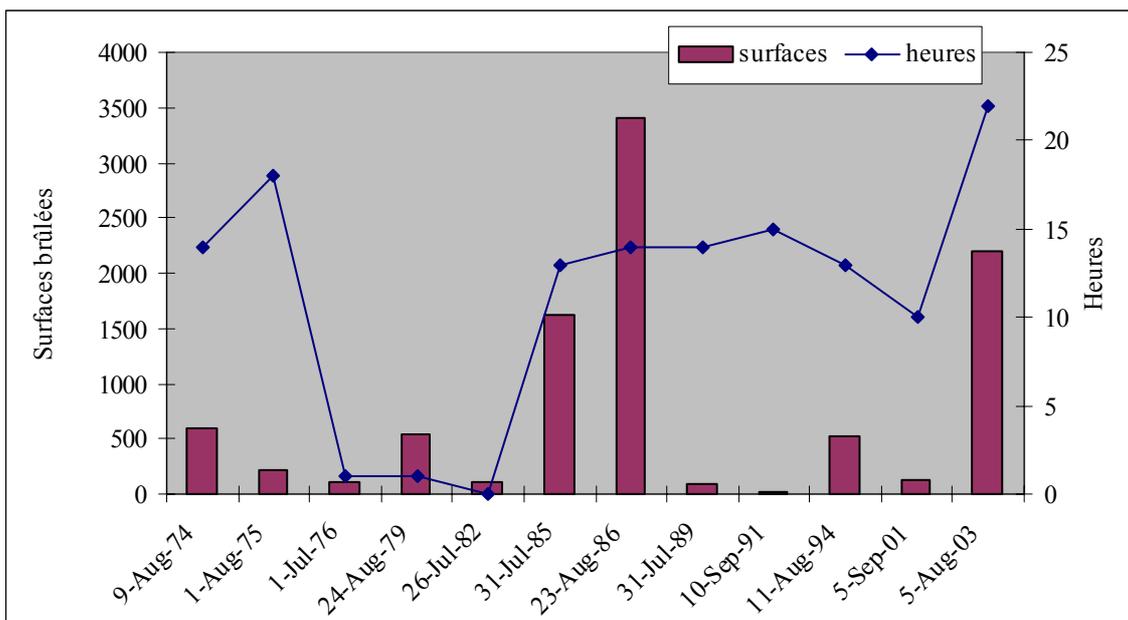


Fig. 76 : Les grands feux rencontrés en été dans le département des Alpes-Maritimes

Source : Prométhée

Réalisation : N. HESSAS, 2005

Pour ce qui est des grands feux d'été, les superficies brûlées sont plus élevées que celles observées en hiver. Les surfaces sont multipliées par 7. L'heure de départ du feu se situe surtout entre 10 heures et 16 heures. Ceci s'explique, contrairement à l'hiver, par les températures élevées. La végétation et le sol sont secs, absence d'humidité pour freiner la propagation rapide du feu. Le record, comme nous le montre cette figure, est celui vu à Peymeinade le 23 août 1986. Mandelieu La Napoule, le 31 juillet 1985 a circonscrit une surface de 1 626 hectares ; suivi de Lucéram qui a perdu 2 200 hectares de surface boisée. En valeur absolue, les Alpes-Maritimes se trouvent dans une situation plus préoccupante avec des années record comme 1986 et 2003 où des milliers d'hectares ont été la proie des flammes. Ci-dessous quelques photos de Lucéram après l'incendie du 05 août 2003.



Lucéram, l'été 2003

Photos 13 : Les dégâts causés par l'incendie de 2003 à Lucéram

Clichés : N. HESSAS, 2003

Les feux de l'été 2003 de Lucéram et de Cagnes-sur-Mer ont marqué le département. Il s'agit de deux milieux différents. A Lucéram le feu, proche du village, a brûlé 2 200 ha de forêt et a duré trois semaines. Par contre Cagnes-sur-Mer a enregistré la perte de 235 ha en milieu urbain et périurbain en une journée. Selon le SDIS (com. Pers.), les dépenses sont chiffrées à 700 000 Euros pour Lucéram et 104 000 Euros pour Cagnes-sur-Mer.

2-2-2-4-Feux supérieurs à 100 hectares depuis 1973

Le nombre et le pourcentage de surfaces parcourues par les feux supérieurs à 100 hectares sont représentés dans les figures suivantes :

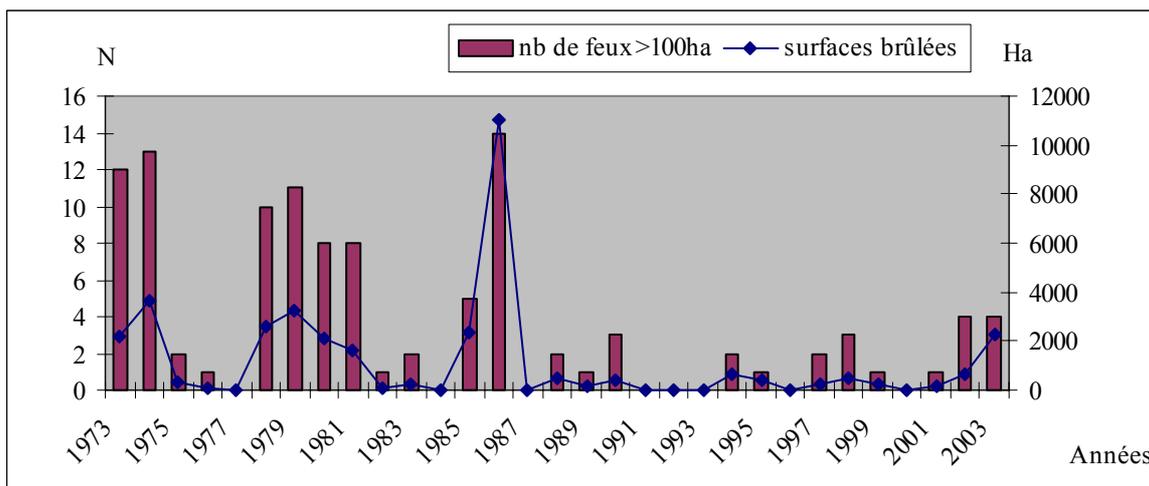


Fig. 77 : Nombre de feux et surfaces supérieures à 100 hectares brûlées dans le département des Alpes-Maritimes

N. HESSAS, 2005

En général, les surfaces les plus incendiées sont surtout inférieures à 5 hectares. Sur 30 ans, 8 années ont échappé aux grands feux. Plusieurs hypothèses sont émises :

- le sol est-il en pente ?
- absence ou présence de vent pour la propagation du feu ?
- le climat est – il doux ?
- l'intervention des pompiers est- elle rapide ?
- et la végétation, le sol et l'air sont –ils humides ?

111 incendies ont connu une extension supérieure à 100 hectares depuis 1973. Cela ne représente que 1,79 % d'incendies de forêts identifiés mais qui ont parcouru plus de 35 532 hectares, soit 60,1 % de la superficie totale incendiée en 30 ans. On notera que la proportion des incendies supérieurs à 100 hectares a sensiblement diminué depuis 1986. De la période 1987 à 2003, 16 années présentent 17 % de feux supérieurs à 100 hectares. L'année catastrophique de 1986 présente à elle seule 31 % de superficies supérieures à 100 hectares.

Les incendies de plus de 1 000 hectares sont heureusement rares. Ils ne représentent que 0,1 % de feux relevés en 30 ans mais ils sont à l'origine de près de 18,7 % de la surface brûlée. Les grands feux, même peu nombreux, sont responsables d'une forte proportion des superficies détruites. Dans les Alpes, leur part est encore plus importante puisque les incendies, dont le plus important a dépassé 2 200 hectares, représentent près de 30 % des dégâts. Grâce au développement de la surveillance des massifs forestiers et à l'intervention

rapide des pompiers, la plupart des incendies sont rapidement circonscrits. Restent les quelques sinistres, qui soit ne sont pas pris assez tôt, soit se déroulent dans des conditions difficiles pour les secours (difficultés d'accès, forte sécheresse, vent violent, sautes de feux et multiplication de feux simultanés) et qui dégénèrent jusqu'à ravager parfois plusieurs milliers d'hectares. L'année 1986 a été une année difficile pour le département. A l'été s'est ajouté un hiver difficile qui a vu la destruction de plusieurs superficies supérieures à 100 hectares. Le tableau suivant nous montrera les différentes communes les plus gravement atteintes pour les étés 1986 et 2003.

Tableau 20 : Les grands feux d'été enregistrés en 1986 et 2003, comptés comme années catastrophiques dans le département des Alpes-Maritimes.

Communes	1986			2003		
	Dates	Heures	Surfaces (ha)	Dates	Heures	Surfaces (ha)
Levens	24/07	12	590			
Eze	24/07	12	1 118			
Bendejun	24/07	12	1 833			
Lucéram				05/08	22h40	2 200
La Trinité	17/08	14	350			
Grasse	12/08	13	443			
Mandelieu La Napoule	23/08	15	750			
Coaraze	23/08	15	1 846			
Peymeinade	23/08	14	3 402			
Mougins	24/08	16	110			
Cagnes Sur Mer				31/08	14h34	234
Total			10 442			2 434

Source : Prométhée

Une comparaison entre les années 1986 et 2003, montre que la surface brûlée a été 5 fois élevée en 1986. Les feux de 1986 sont répartis sur 9 communes, alors que 2003 n'a touché que deux communes. Ces gros sinistres sont surtout des zones escarpées. Les moyens de prévention sont de plus en plus performants. La prévision est de plus en plus étudiée et appliquée avec précaution.

2-2-2-5-Cartographies des surfaces brûlées par commune

Cette carte permet d'analyser la localisation des grands feux et les secteurs épargnés par le feu. L'analyse statistique départementale depuis une trentaine d'années montre que contrairement au littoral où les superficies incendiées semblent se stabiliser grâce aux efforts de protection, les zones de montagnes connaissent des dégâts croissants, liés sans conteste à la déprise et à la progression des friches.

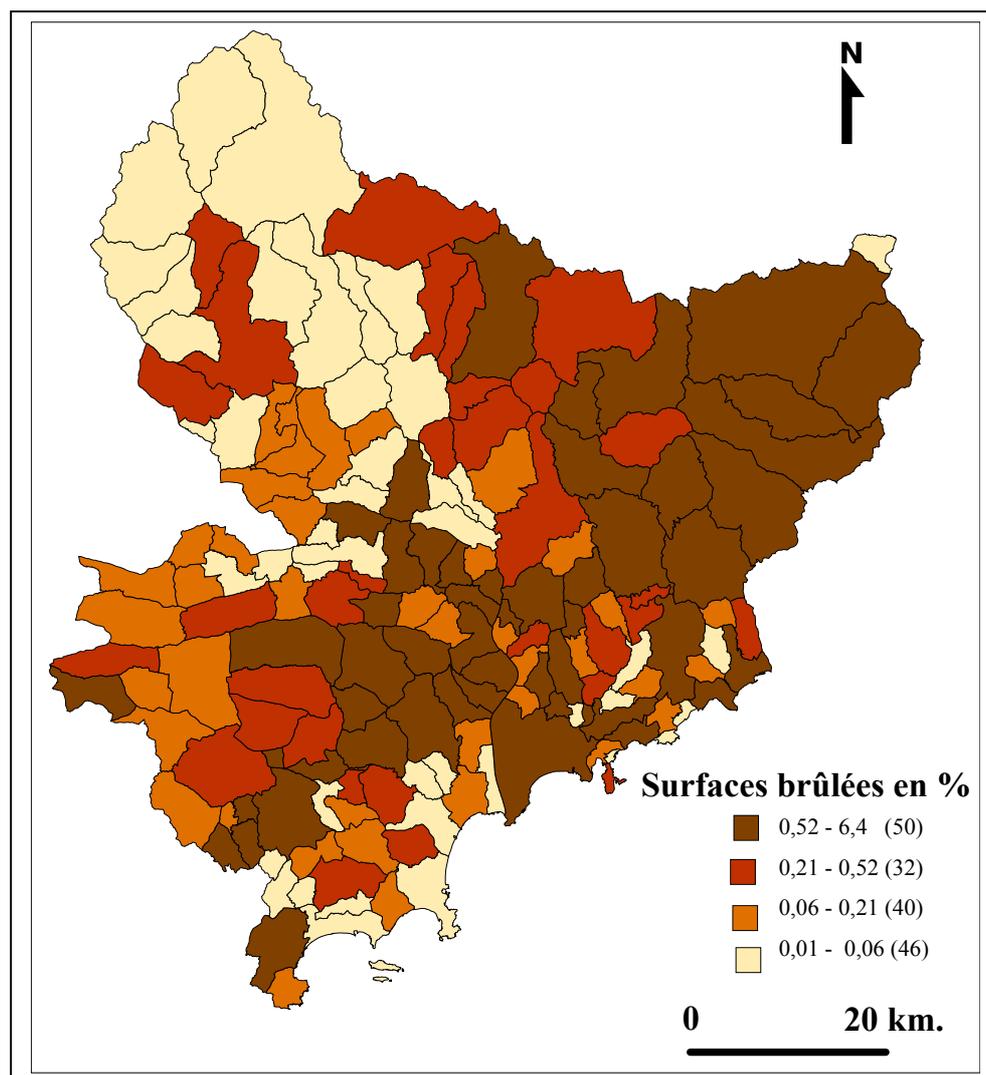


Fig. 78 : Surfaces combustibles par commune du département des Alpes-Maritimes

Source : Prométhée

Réalisation : N. HESSAS, 2005

Les communes ayant échappé aux feux de dix hectares sont minoritaires. On les retrouve dans le quart Nord-Est du département, dans certaines zones littorales peu boisées ainsi qu'à l'extrémité occidentale du département, dans le massif du Cheiron. Les feux

supérieurs ou égaux à cent hectares sont peu fréquents. Ils se produisent rarement sur les communes littorales, souvent petites et très urbanisées, mais plutôt dans l'arrière pays le long d'une bande parallèle à la côte et dans l'angle Nord-est du département. L'absence de Nice au palmarès des superficies brûlées s'explique ici par l'absence sur la commune d'incendies de plus de cent hectares. A l'inverse, on constate que le bilan important de certaines communes du Nord s'explique par la présence de ces grands feux même si le nombre de départs de feux est faible. Ainsi la superficie moyenne par incendie à Nice est de 1,9 hectares, 0,2 hectares à Cannes, alors qu'elle grimpe respectivement à 204 et 207 hectares à Bendejun et Peymeinade. Les incendies qui affectent la montagne peuvent rapidement prendre des proportions importantes en raison de l'éloignement des secours, des difficultés d'accès liées au relief et de la présence d'une composition de la structure végétale facilement inflammable. C'est le cas par exemple dans les hautes et moyennes vallées de la Vésubie et de la Roya où le bilan résulte d'une taille moyenne par feu assez élevée. Dans la commune de Saint Etienne de Tinée (extrême Nord Ouest du département) par exemple, la superficie moyenne brûlée ne dépasse pas aujourd'hui les cinquante hectares alors que dans l'extrême Sud la moyenne est supérieure. Les altitudes qui culminent à plus de 3 000 mètres décroissent globalement du Nord-est vers le littoral (cf. figure 30). Le Nord du département est occupé par le célèbre massif du Mercantour, massif cristallin où dominant les gneiss. Il se prolonge vers le Sud par les Alpes niçoises qui constituent une enveloppe sédimentaire permienne et triasique descendant approximativement jusqu'au Sud de Breil Sur Roya côté oriental et jusqu'à Puget-Théniers à l'Ouest. Cet ensemble est caractérisé par une extraordinaire complexité, et les crêtes Nord-Sud y croisent des chaînons orientés Est-Ouest. Plus au Sud dans les Préalpes, le relief régulièrement ordonné Est-Ouest paraît plus simple dans les secteurs du Cheiron et de l'Esteron où les épaisses assises sédimentaires jurassiques et crétacées frôlent les 1 800 mètres d'altitude. Mais à l'Est, de l'autre côté de la vallée du Var, le relief est beaucoup plus complexe. Au Nord de Nice les Préalpes s'incurvent en une série de chaînons calcaires qui forment un arc de cercle. Le littoral, enfin, se partage entre plaines étroites qui battent des records de taux d'urbanisation et coteaux qui peuvent tout de même atteindre 600 mètres d'altitude.

La comparaison de la géographie des départs de feu et de celle des superficies brûlées permet de constater un certain nombre de divergences. Aucune des communes en tête des départs de feu, à commencer par Nice, ne se retrouve parmi les communes où les dégâts sont les plus spectaculaires. Le montant des dégâts n'est donc pas forcément proportionnel au

nombre de départs de feux : ainsi les 2 242 hectares brûlés à Bendejun ne sont le résultat que de onze sinistres dont un en juillet 1986 ayant parcouru 2 238 hectares. Il est donc quasiment à lui seul responsable du bilan communal. A l'inverse les 138 feux de Nice n'ont ravagé si l'on peut dire que 257 hectares. La taille moyenne des feux est extrêmement variable d'une commune à l'autre, mais cette moyenne cache des contrastes très forts entre une multitude de petits feux et quelques grands incendies qui bien souvent sont responsables des bilans les plus catastrophiques.

L'analyse des données confirme l'importance quantitative des incendies. L'extrême sensibilité des massifs forestiers méditerranéens est une nouvelle fois mise en évidence. Malgré la multiplication du nombre d'éclosions, les espaces et les temps du feu ont relativement peu évolué au cours du siècle, à l'exception cependant d'une sensibilité un peu plus importante aujourd'hui des régions montagneuses. Les mutations les plus spectaculaires sont en fait à chercher du côté de la lutte contre les incendies dont les progrès apparaissent à travers la relative stabilité des surfaces brûlées.

2-3-Intensité potentielle du feu

L'intensité d'un incendie correspond à la puissance du front de feu. Elle représente la quantité de chaleur ou d'énergie déployée par le feu. Elle permet d'évaluer son comportement. Ce paramètre est généralement considéré comme le meilleur facteur, indicateur de la difficulté à maîtriser un incendie. Il résulte de la combinaison des caractéristiques propres du combustible, qui sont très variables dans le temps, en fonction du stade de développement de la végétation et de la vitesse de propagation du feu.

BYRAM (1959) avait utilisé ce même paramètre pour établir une formule, permettant de calculer la puissance du feu. Elle a été reprise depuis par de nombreux auteurs sous le terme de « BYRAM'S fire line intensity », « frontal fire intensity » (ALEXANDER, 1982) ou puissance linéaire du front de feu (TRABAUD, 1979). La puissance du feu P , dépend de la quantité w (kg / m^2) de biomasse brûlée par le front (feuilles, aiguilles, brindilles et litières), de la vitesse de progression du feu sur le front R (m / s) et de la chaleur de combustible (J / kg), soit :

$$P = 18\,700 w R.$$

(ALEXANDRIAN, 1982)

P : puissance du front de feu

: chaleur spécifique de combustion (kJ / g)

w : quantité de combustible brûlée (g / m²)

R : vitesse de propagation (m / s).

Dans le département des Alpes-Maritimes, l'intensité potentielle du feu est calculée selon la formule suivante

Formule de Byram :

Puissance du front de feu = chaleur spécifique de combustible (kJ / g) x quantité de combustible brûlée (g / m²) x vitesse de propagation (m / s).

L'unité recommandée en système international, est le kilowatt par mètre. Certains auteurs utilisent la calorie par seconde et par centimètre. D'après LAMPIN-CABARET, JAPPIOT, ALIBERT et MANLAY (2003), il existe d'autres indicateurs de mesure (de façon indirecte), que nous n'allons pas utiliser dans nos calculs ; ce sont :

- la fréquence d'apparition des sautes de feu qui augmente avec l'intensité des feux (résultats du programme européen SALTUS) et la longueur des sautes ;
- l'estimation de la largeur, de la hauteur de la colonne de convection ou de la couleur de la fumée ;
- la distance pour laquelle le rayonnement de la flamme est supportable au visage.

Les seuils adoptés pour les limites de classes correspondent à des niveaux d'intensité employés dans les manuels de sapeurs- pompiers.

Tableau 21 : Les seuils d'intensité fixés pour la France

Intensité potentielle	Seuils d'intensité en France
< à 2 000 kW/m	Feux maîtrisables par des moyens terrestres
De 2 000 à 4 000 kW/m	Les moyens aériens sont nécessaires
> à 4 000 kW/m	Impossible de contenir la tête du feu

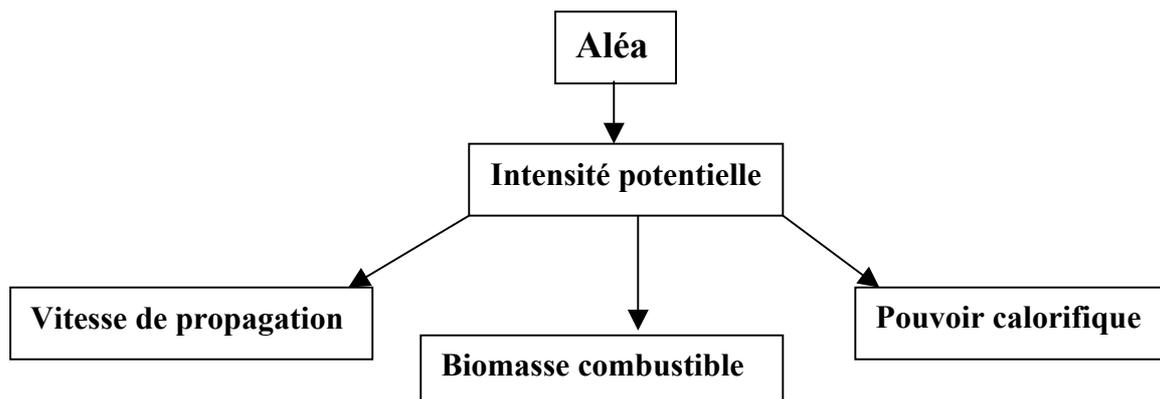
Source : TRABAUD, 1989

La puissance du feu est un critère qui peut être déterminé à partir de la quantité de combustible détruit. GIMINGHAM (1972) considère qu'un feu froid ne consomme que 30 %

du combustible disponible et qu'un feu satisfaisant en détruit 90%. Les Canadiens, experts dans le domaine du risque feu de forêt, considèrent qu'un front de feu de puissance inférieure à 2 000 kW/m peut être maîtrisé par les moyens de lutte au sol. Au-delà et jusqu'à 4 000 kW/m, la lutte est difficile et l'intervention des moyens aériens, permet seule de maîtriser directement la tête du feu. Au-delà de 10 000 kW/m, la maîtrise du feu est impossible, et on doit attendre un affaiblissement de la puissance du feu ou un ralentissement de sa progression (affaiblissement du vent, passage du feu dans une végétation moins dense, fraîcheur du soir), ou encore les effets des interventions retardatrices (largage des produits moussants, ...). Une intensité plus ou moins forte du phénomène dépend de la végétation, de la topographie et des conditions météorologiques qui accompagnent le phénomène. En France, la puissance limite a été fixée à 25 000 kW / m ; elle correspond à la biomasse combustible maximum des types de végétation du Sud - Est de la France (1 à 2 kg / m² de la litière, de feuilles, d'aiguilles et de brindilles, soit 10 à 20 tonnes/ hectare) et aux vitesses maximales de progression du feu dans ces mêmes types de végétation (0,5 à 1m / s) (TRABAUD, 1989). Certains auteurs comme KAYLL (1966) et TRABAUD (1979) ont montré que les températures mesurées au cours des feux d'été étaient supérieures à celles mesurées au cours des feux de printemps. Selon CHEVROU (1998), la puissance du feu peut dépasser 100 000 kW / m en Amérique du nord et en Australie, mais il semble qu'elle ne puisse atteindre 25 000 kW / m en France que dans des circonstances exceptionnelles, non précisées car il n'est pas d'usage d'estimer la puissance du feu en France. Cette grande différence s'explique par le fait que les forêts sont plus denses, les arbres plus gros et plus grands et, surtout, les litières beaucoup plus épaisses dans ces pays qu'ils ne le sont dans le Sud de la France.

Chaque composante de la formule de BYRAM sera explicitée dans l'ordre suivant :

- la vitesse de propagation,
- la biomasse combustible,
- la chaleur spécifique de combustion ou pouvoir calorifique.



2-3-1-Vitesse de propagation en m / s

La vitesse de propagation est la vitesse prévue d'un incendie, au front ou à la tête d'un feu (là où le feu progresse le plus rapidement). Elle comprend à la fois les feux de cime, ainsi que ceux qui se disséminent. Elle est mesurée en mètres par minute. La vitesse de propagation du feu est conditionnée par les trois paramètres de base qui régissent le comportement du feu :

- le combustible,
- le vent
- et la pente.

La vitesse de propagation est donc calculée selon la formule suivante :

$\text{Vitesse de propagation} = \text{vitesse de propagation sans pente, ni vent} \times (1 + \text{coefficient de pente} + \text{coefficient de vent})$

2-3-1-1-Vitesse de propagation sans pente ni vent

La vitesse de propagation sans pente ni vent, spécifique à chaque type de combustion a été évaluée en fonction de la connaissance acquise dans d'autres situations. En effet, lors d'études antérieures, des valeurs de vitesse de propagation du feu, sans pente ni vent, ont été attribuées à chaque type de peuplement. Les valeurs sont calculées pour une humidité relative de l'air comprise entre 40 et 50 % et des conditions de sécheresse correspondant à une réserve en eau du sol inférieure à 40 mm, d'une part ; et d'autre part elles sont établies après vérification sur le terrain des différentes formations forestières et interrogation des pompiers sur le comportement du feu dans ces différentes formations.

Tableau 22 : Vitesse de propagation du feu en fonction du type de combustible parcouru

Types de combustible	Vitesse de propagation
Hors thème	0
Futaie de pins sylvestres purs (production)	0,05
Futaie de pins noirs (production)	0,05
Futaie d'autres conifères purs (production)	0,05
Reboisements de conifères	0,05
Futaie de conifères, mêlée de taillis (protection)	0,05
Taillis de chênes décidus purs (production)	0,02
Taillis de hêtres (production)	0,02
Autres taillis (production)	0,02
Boisements morcelés de feuillus (production)	0,03
Boisements morcelés de conifères (production)	0,06
Boisements lâches de feuillus (production)	0,03
Boisements lâches de conifères (production)	0,06
Garrigues et maquis ou feuillus prépondérants	0,1
Garrigues et maquis ou conifères prépondérants	0,1
Grandes landes non montagnardes	0,1
Incultes et friches	0,1

Source : MTD, 2001

La vitesse de progression du feu la plus élevée, s'observe dans les formations végétales basses continues, comme les landes ou les garrigues claires, où la biomasse est faible à très faible. A l'inverse, elle est relativement faible dans les formations arborées avec sous-bois dense, où la végétation forme un écran s'opposant au vent, au rayonnement thermique et à la convection horizontale. La biomasse brûlée est alors beaucoup plus importante. DICKINSON et KIRKPATRICK (1985) ont montré que la vitesse du front de flammes, dépend de la teneur en eau et de la valeur calorifique de la végétation. METAILLIE (1981) rappelle que la vitesse de propagation dépend de 4 facteurs : la pente, le vent, la masse de combustible et son humidité et considère qu'un feu ayant une vitesse de propagation de 3 à 4 cm/s est contrôlable, mais que si la vitesse atteint 15 à 35 cm/s il devient impossible à contrôler. A l'occasion de brûlages dirigés, des expérimentations ont été réalisées et ont permis de mettre en relation certaines valeurs de paramètres d'intensité du feu tels que la vitesse de propagation d'un feu et des endommagements mesurés de la végétation (TRABAUD, 1989). Les effets de

feux d'intensité définie selon quatre niveaux d'intensité ont été mesurés sur des peuplements de *Pinus Pungens* aux USA (WALDROP et BROSE, 1999 in LAMPIN - CABARET et *al.*, 2003). Des mises en relation entre vitesse de propagation et surface morte de couverture végétale, % mort du couvert végétal (CARREGA et NAPOLI, 1998 in LAMPIN -CABARET et *al.*, 2003), entre puissance et endommagement des peuplements (TRABAUD, 1989) en Europe sub-méditerranéenne ont également été réalisées.

2-3-1-2-Coefficient de pente et de vent

Le vent et la pente jouent un rôle majeur dans la propagation des feux et par conséquent dans l'évaluation de l'aléa. Le premier agit en renouvelant l'oxygène de l'air, en réduisant l'angle entre les flammes et le sol et en favorisant le transport des particules incandescentes en avant du front de flammes. La seconde, influence la vitesse de propagation d'un feu, en modifiant l'inclinaison relative des flammes par rapport au sol, qui diffère selon que le feu gravit ou descend une pente.

Ces deux paramètres sont regroupés en seuils définis à partir des résultats issus des différentes études menées sur le département des Alpes-Maritimes.

- **L'effet d'accélération** lié à la pente est pris en compte à travers un coefficient égal à :

Tableau 23 : Les seuils de pente

Pentes	coefficients
< à 20	0
De 20 à 40 %	1
> à 40%	2

Source : MTDA, 2001

Par ailleurs la carte des pentes est obtenue par interpolation du modèle numérique de terrain de BD topo. de l'IGN (dont la précision au sol est de 50 m), permettant ainsi de prendre en compte le relief comme le facteur d'accélération des feux.

- **L'effet de la vitesse du vent**, quant à lui, est pris en compte au niveau départemental à travers un coefficient égal à 2 correspondant, à un vent de référence soufflant à 30 km/h.
- La combinaison entre effet de pente et effet du vent tient compte de leur orientation respective.

Tableau 24 : Combinaison des coefficients de pente et de vent

Vent et pente	Pente		
	< à 20 %	De 20 à 40 %	> à 40 %
Orientés en sens opposés	2	2	2
Orientés dans le même sens	2	3	4
Orientés perpendiculairement	2	$\sqrt{5}$	$\sqrt{8}$

Source : MTDA, 2001

Par simplification, on se place pour cette étude dans des conditions les plus défavorables autrement dit, dans le cas où la pente et le vent sont orientés dans le même sens. Après avoir déterminé la vitesse de propagation du feu en fonction du combustible parcouru et du facteur d'accélération lié à la pente et au vent, la seconde étape de l'évaluation de l'intensité, selon la formule de Byram, consiste à calculer la quantité de biomasse combustible.

2-3-2-Biomasse combustible en kg / m²

La biomasse combustible totale est le poids prédit du combustible consommé par le feu tant sur le parterre forestier que dans les couronnes des arbres. Elle est mesurée en kilogrammes par mètre carré de surface au sol, et est basée sur la teneur en eau du feuillage, la combustion du combustible de surface, ainsi que la vitesse de propagation. Pareillement à la vitesse de propagation du feu, la biomasse des formations combustibles a été estimée sur la base d'une étude antérieure et en s'appuyant sur les peuplements répertoriés par l'I.F.N.

Tableau 25 : Biomasse des différents combustibles

Types de combustibles	Biomasse
Futaie de pins sylvestres purs (production)	0,5
Futaie de pins noirs (production)	0,5
Futaie d'autres conifères purs (production)	0,5
Reboisements de conifères	0,5
Futaie de conifères, mêlée de taillis (protection)	0,5
Taillis de chênes décidus purs (production)	1
Taillis de hêtres (production)	0,5
Autres taillis (production)	0,5
Boisements morcelés de feuillus (production)	0,5
Boisements morcelés de conifères (production)	0,5
Boisements lâches de feuillus (production)	0,5
Boisements lâches de conifères (production)	0,5
Garrigues et maquis ou feuillus prépondérants	0,5
Garrigues et maquis ou conifères prépondérants	0,5
Grandes landes non montagnardes	0,5
Incultes et friches	0,5

Source : MTDA, 2001

La biomasse ainsi évaluée va permettre d'apprécier l'aptitude d'une formation végétale à propager le feu en se consumant. En effet, la quantité de combustible combinée au pouvoir calorifique va donner une estimation de la combustibilité de la végétation. Plus la biomasse sera importante et plus la combustibilité sera élevée.

2-3-3-Pouvoir calorifique

La chaleur de combustion est classiquement approchée par le pouvoir calorifique supérieur, soit environ 18 000 J/kg, représentant la quantité maximum de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de masse de combustible anhydre (ne contenant pas d'eau) dans l'atmosphère suroxygénée d'un calorimètre adiabatique (sans échange de chaleur avec l'extérieur).

Mais pour se positionner dans des conditions plus proches de la réalité et compte tenu des études antérieures, la teneur en eau des végétaux ayant été estimée à 30 %, la chaleur spécifique de combustion a été fixée à 12 000 J/kg. Selon FOGCARD (1987), l'apport de litière augmente de façon sensible la température du sol à 2,5 cm et à 5 cm. Dans la litière, l'augmentation de température est également très nette. Par contre, entre 50 cm et 1 m, il n'y a pas de différence importante. Cette zone correspond aux troncs d'*Ulex europaeus*, dégarnis d'épines ; il n'y a donc pas en fait de combustible supplémentaire. Au dessus d'un mètre, les rameaux épineux, constituent un apport de combustible et les températures atteignent 1 000 à 1 100 °C entre 1,50 m et 2 m, quand la biomasse est approximativement doublée. Lorsque la quantité de combustible est augmentée, d'environ 20 %, l'élévation de température est sensible de - 2,5 cm à + 10 m. Lorsque la quantité de combustible est augmentée de 50 %, l'élévation de température est sensible à tous les niveaux de - 5 cm. De même, l'aléa est déterminé en se plaçant dans les conditions météorologiques les plus favorables, à la propagation de l'incendie, compte tenu de la fréquence de celle-ci.

Le croisement, grâce au SIG, des couches de données : vitesse de propagation, quantité de combustible et chaleur de combustion permettent d'obtenir la carte d'intensité potentielle du feu. Cette dernière a ensuite été reclassée, à dire d'expert, en trois catégories, de la manière suivante :

Intensité potentielle	Coefficients	Niveaux de puissance
< à 2000 kW/m	1	Faible
De 2000 à 4000 kW/m	2	Modéré
> à 4000 kW/m	3	Moyen à fort

L'aléa est déterminé en se plaçant dans les conditions météorologiques les plus favorables à la propagation de l'incendie, compte tenu de la fréquence de celle-ci. Enfin, l'aléa est déterminé sans tenir compte des moyens de protection (coupures de combustibles, secteurs débroussaillés) en considérant la végétation dans son état le plus défavorable en terme de biomasse et de combustibilité. Les résultats obtenus sont classés selon trois niveaux d'aléas : faible, modéré, moyen fort.

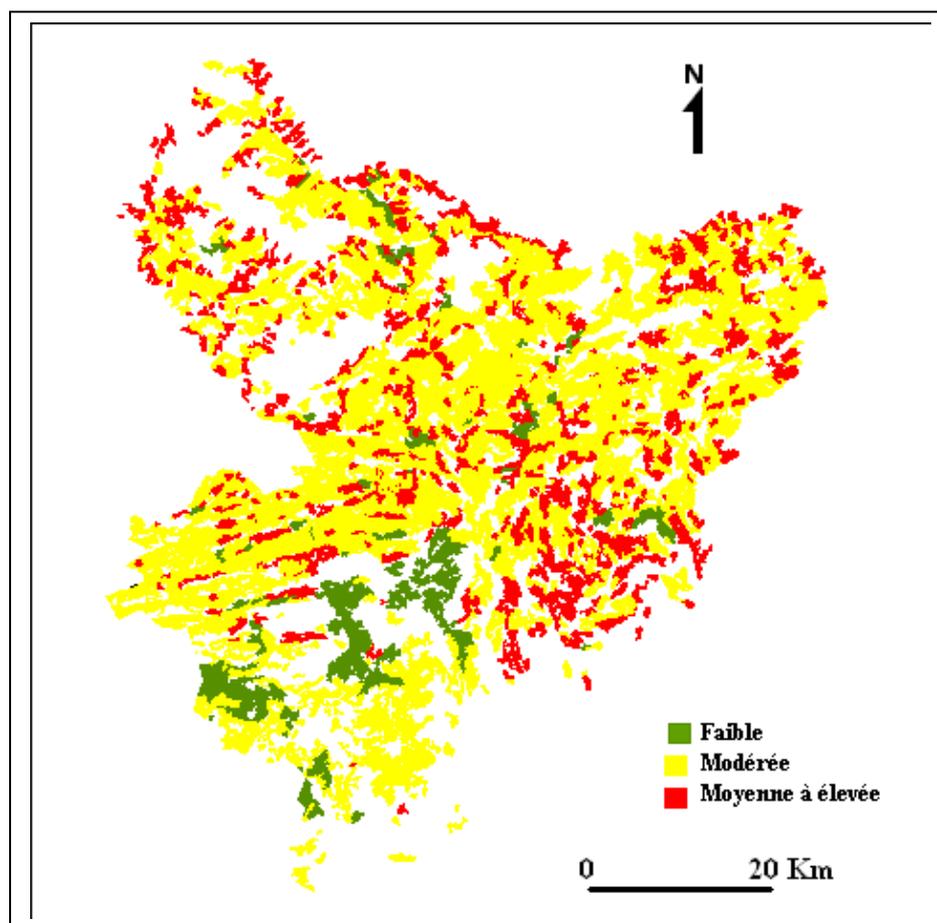


Fig. 79 : Carte de l'intensité potentielle

Réalisation : N.HESSAS, 2005

Les zones très sensibles dans notre cas, sont les zones où le risque est permanent, ou cyclique. Il s'agit des endroits menaçant gravement l'équilibre écologique, la sécurité des personnes et des biens, ou contribuant à l'accélération des processus de désertification des zones rurales. Selon nos résultats, l'aléa dans les Alpes-Maritimes, couvre une grande surface et présent surtout au Nord, à l'intérieur et à l'Ouest. Ce sont les formations arbustives, maquis et garrigues et des forêts de conifères qui sont menacées. Selon TRABAUD (1974) et DELABRAZE (1985) in LEOUFFRE et LECLERC (1995), les bois des résineux sont considérés comme davantage combustibles que les bois de feuillus. En effet selon VAN WAGNER (1977), la teneur en eau du feuillage des peuplements de feuillus est plus élevée que celle du feuillage des peuplements de résineux, et de ce fait les feux de cime ont moins tendance à se développer dans les premiers que dans les seconds. Les landes sont des milieux assez fortement combustibles. Elles présentent une continuité horizontale de matériel ligneux sur une hauteur de 1 à 3 m selon leur ancienneté ; la présence d'arbres jusqu'à un recouvrement de 75 %, ne modifie pas significativement ce niveau de risque. En effet,

l'augmentation du combustible liée à la présence des arbres est compensée par le ralentissement que cette présence induit sur la vitesse des vents au niveau du sol (GUYOT, 1990). Les formations herbacées et les cultures (en particulier les céréales), peuvent conduire des feux courants de faible intensité. Néanmoins, quand les formations herbacées sont dominées par un couvert arboré assez dense (50 à 75 %), des bosquets où les houppiers sont en contact, peuvent localement être objets de feux de cimes. De ce fait, cette dernière catégorie a été classée en combustibilité modérée. Si la part relative de ces catégories de combustibles, conditionne la combustibilité globale du paysage, leur agencement dans l'espace doit aussi être pris en compte dans l'évaluation du risque d'incendie. En effet, les successions de parcelles forestières de différentes classes d'âges (KNIGHT, 1987 ; ROMME et DESPAIN, 1989) ou les successions de formations végétales différentes d'un point de vue de leur structure et de leur composition (DELABRAZE, 1986 et DELABRAZE, 1990) qui correspondent à des variations de disponibilité de combustible et de teneur en eau (TUNER et ROMME, 1994), sont de nature à casser la dynamique de progression du feu en rompant la continuité horizontale du combustible. Les cours d'eau, lorsqu'ils sont suffisamment larges, pour empêcher des sautes de flammes, sont des coupures de combustible naturelles qui peuvent enrayer totalement la propagation du feu (LOOPE et GRUELL, 1973 ; HEINSELMAN, 1973 ; ROMME et KNIGHT, 1981). Les routes jouent un rôle ambigu dans la mesure où elles sont à la fois des lieux d'intervention privilégiés des moyens de lutte, et, de ce fait des zones de rupture potentielles, mais aussi des zones privilégiées de départs de feux.

Les zones de risque moyen, sont les zones où les risques d'incendies de forêt, sans être permanents ou cycliques, peuvent menacer les écosystèmes forestiers, de manière significative. Ce type d'aléa est éparpillé dans le département.

3-Evolution de la connaissance des causes de départs de feux, dans les Alpes-Maritimes de 1973 à 2003

Dans le but de mieux connaître les origines des feux, sur les 15 départements de la zone Sud, une typologie des causes de départs de feux a été mise en place, au sein de la base Prométhée, par la Délégation à la protection de la forêt méditerranéenne. Afin d'améliorer le niveau de connaissance, relatif à l'origine des feux, des modifications ont été apportées à cette typologie depuis sa création.

La recherche des causes du feu est devenue une priorité, pour les administrations centrales et le préfet de la zone de défense Sud. Le rôle de l'équipe départementale est d'intervenir rapidement dans la connaissance des causes, généralement dans un laps de temps compris entre 24 / 48 heures et 5 jours suivant le départ de l'incendie pour en rechercher la cause (Plan Départemental de Prévention Contre les Incendies de Forêt, 1999). La figure suivante, donne les éléments chiffrés de cette répartition, dans laquelle on a classé ensemble des incendies dont les enquêtes ont abouti, et d'autres non (ou sans enquêtes).

Les feux dans le département des Alpes-Maritimes ont trois origines :

- les origines naturelles telles que la foudre etc. sont négligeables,
- les origines involontaires :

- accidentelles tels que le mégot de cigarette incandescent, l'incinération de résidus de végétaux, de dépôts d'ordures sauvages ou incontrôlés. Un exemple pris comme accidentel [selon Libération.fr (2003), le 16 juin 2003] un incendie de garrigues près de Breil Sur Roya a pris naissance dimanche soir et n'était toujours pas contenu lundi en début d'après midi. Au départ, c'était un accident de moto ; après s'être renversé, un deux roues a pris feu, les flammes se sont propagées à la garrigue et aux broussailles environnantes. Quatre canadiens et deux trackers ont été appelés en renfort pour combattre le feu et épauler au sol une centaine d'hommes.
- imprudences dus aux loisirs, ou par des travaux forestiers ou agricoles. Le 6 juillet 2003, deux garçons âgés d'une dizaine d'années ont provoqué un incendie qui a ravagé 130 hectares de forêt et de garrigue, sur les hauteurs de Nice. L'incendie a éclaté aux alentours des communes de Saint Blaise, de Castagnier et d'Aspremont. Ce feu a démarré samedi à 16H30 et a été maîtrisé dimanche. Environ 250 pompiers et une cinquantaine d'engins étaient toujours mobilisés dimanche.

- les origines volontaires ou criminelles, œuvre de bergers qui ont pour but d'ouvrir le maquis pour faciliter l'accès aux animaux pour se procurer de nouvelles ressources fourragères, par une redynamisation de la strate herbacée. Les chasseurs font également partie du lot, dans le but d'ouvrir des sentiers ou bien de créer des postes de tir et évidemment les pyromanes.

La connaissance des causes des incendies de forêt est très limitée. De plus l'évolution de cette dernière présente d'importantes fluctuations au fil des années. Compte tenu des efforts réalisés en matière de recherche des causes d'incendies (notamment avec de nouvelles méthodes), ces valeurs restent en dessous de ce qu'il serait légitime d'escompter.

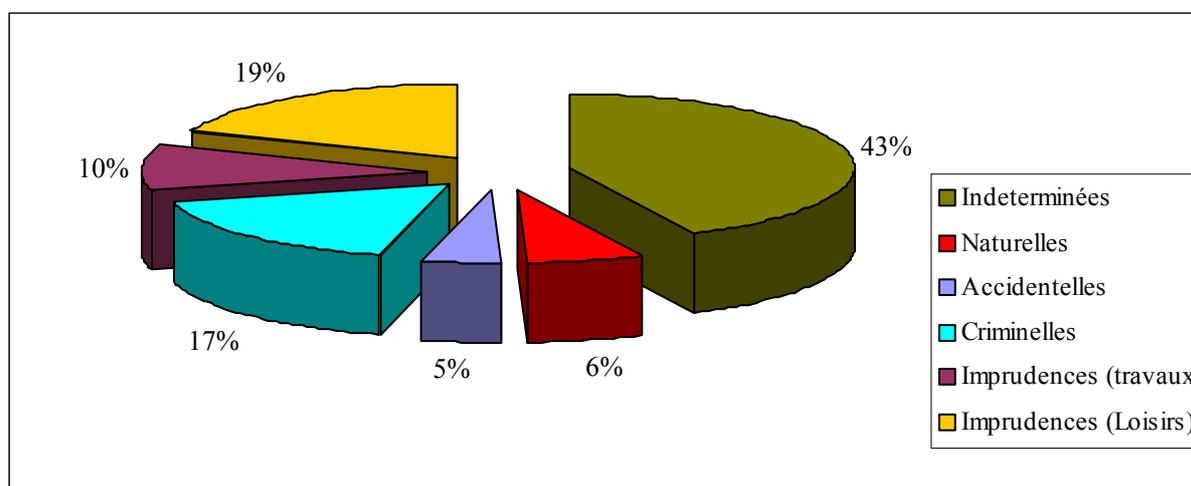


Fig. 80 : Les différentes origines en pourcentage des feux de forêts dans les Alpes-Maritimes

Source : Prométhée
Réalisation : N. HESSAS, 2005

Les causes de départ de feux sont rarement clairement, identifiées. L'échantillon présenté dans la figure ci dessus s'étale sur une période de 7 ans, allant de 1997 à 2003. La proportion des feux d'origine inconnue ou sans enquête est de 43 %. Le pourcentage des incendies dont la cause est déterminée est de 57 %. Plusieurs caractéristiques, particulièrement évidentes, démontrent que les activités humaines exercent une influence directe ou indirecte sur le déclenchement des incendies. La majorité des incendies se déclarent les jours fériés (y compris en fin de semaine entre 10h et 20h); le rythme de vie de la population se répercute directement sur la distribution temporelle des incendies (heures de travail, heures d'été, etc.); les causes ont changé en fonction de l'évolution socioéconomique. Les causes involontaires dues aux loisirs représentent, une part importante des feux connus, soit 19 %. Celles liées aux travaux sont prépondérantes (10 % des incendies). Elles regroupent les travaux forestiers, agricoles, industriels et publiques, ainsi que des reprises d'incendies. Parmi cette famille de causes, l'origine agricole des feux revient fréquemment. Elle englobe les travaux agricoles, les feux de végétaux sur pieds, les feux de végétaux coupés (ALEXANDRIAN, 1988 ; BUFFIERE et al., 1992 et DERIOZ, 1999 ;). On constate également l'importance des feux dont l'origine est attribuée aux criminels 17%. Ces

feux d'origine criminelle sont répertoriés essentiellement l'été; il s'agit souvent de sinistres graves, allumés en période de grands risques (vent, nuit). Dans la majorité des cas, ils sont le fait de pyromanes. Les incendies dus à l'imprudence, semblent avant tout causés par une population rurale, au moins autant que par les résidents secondaires et plus que les touristes, enfants et adolescents. De façon générale, les points d'éclosion des feux se situent le long des routes et pistes carrossables, ou près des habitations. Le nombre de feux partant au cœur des massifs sont faibles. Les causes naturelles (la foudre,...) et accidentelles ont été mentionnées moins fréquemment, mais comptent tout de même pour 6 % des éclosions. Ce résultat confirme celui d'ALEXANDRIAN et GOURIAN (1990) ayant fait une étude sur les causes d'incendies en Provence Alpes Cotes d'Azur, qui a révélé que seule une petite minorité des feux, environ 6 %, est due à un phénomène naturel, à savoir la foudre. Toutes les autres causes sont d'origine humaine, et dans plus de 60 % des cas elles sont le résultat d'imprudences. Les feux d'origines criminelles, dits aussi d'origines intentionnelles, sont subdivisés en trois catégories :

- le conflit, avec deux cas : occupation du sol et chasse,
- l'intérêt, avec trois cas : occupation du sol, cynégétique et pastoralisme,
- la pyromanie.

Les motivations des auteurs, peuvent être diverses (vengeance, délinquance, pyromanie...). Considérant l'importance des cas attribués à la pyromanie, on peut se demander si la définition de ce type (pyromanie) employée souvent par les médias comme un synonyme de malveillance, est adéquate. Le pyromane relève tantôt d'un placement en psychiatrie, s'il n'est pas considéré comme pénalement responsable par le tribunal, ou de la prison, dans le cas contraire, comme les incendiaires volontaires (ces peines lourdes, prévues par les articles L. 322-5 et suivants du code pénal, ont été aggravées par le projet de loi portant adaptation de la justice à l'évolution de la grande criminalité). Les fameux pyromanes régulièrement désignés à la vindicte populaire existent évidemment, mais dans des proportions beaucoup plus réduites que ne le laisse entendre l'imagerie populaire, même si les dégâts qu'ils commettent tendent à être supérieurs aux autres feux : mises à feu les jours des grands vents, allumages simultanés.... « L'incendiaire moyen ressemble fort à monsieur tout le monde : promeneurs ou automobilistes imprudents, comportements inconscients comme l'allumage de barbecues, de pétards... d'une population devenue majoritairement urbaine, mais aussi, pratiques à risque des ruraux comme, écobuages ou autres incinérations de

végétaux ». Après toutes les catastrophes de 2003, Jacques CHIRAC a indiqué que les coupables « seront recherchés avec une extrême rigueur », puis « poursuivis avec une extraordinaire sévérité » (Libération .fr, 2003). Selon SABATIER (2003) la répression accrue, brandie par le président de la République et son ministre de l'intérieur n'y changera pas grande chose. Les « fous du feu » agissent les trois quarts du temps par imbécillité (un mégot dans une pinède en bord de route), déséquilibre psychologique (c'est le cas de la plupart des pyromanes), ou inconscience (des gamins jouant avec les allumettes). Aucune loi ne guérit la bêtise, ne remplace l'incurie parentale ni ne soigne la schizophrénie. Aucun déploiement policier n'empêchera que la conjonction de la sécheresse, du mistral, de la forêt et de l'homme provoquent automatiquement des incendies. 17 % d'incendies criminels sont enregistrés dans ce département des Alpes Maritimes. La vie du monde rural, et les risques d'incendies qu'elle génère (problèmes de chasse, de collecte de miel dans laquelle le feu sert à chasser les abeilles de la ruche, de travaux agricoles et forestiers, d'habitat dispersé, de résidences secondaires) nécessitent une prise en compte attentive dans la stratégie de prévention. Il en est de même pour l'urbanisation par le mitage des zones forestières (voies, maisons). Enfin, le mythe de « l'incendiaire criminel universel » s'éloigne, permettant ainsi d'orienter une politique de prévention et de communication en direction d'un public cerné.

Comment éviter l'augmentation du nombre des incendies ? Ceci est un vrai problème. Selon la FAO (2004) en Europe et en Afrique du Nord, l'exode rural contribue également aux feux de forêt. Les plus jeunes partent vers la ville et par conséquent, l'entretien de la forêt, le pâturage et la collecte du bois de chauffe s'arrêtent. Les arbres morts et les buissons s'accumulent sur le sol et accroissent le risque d'incendie. La majorité des incendies de forêt en Turquie sont provoqués par la population (97 % de tous les incendies). La foudre est responsable des 3 % restants. Parmi les incendies provoqués par la population, 23 % sont classés comme incendies criminels, 27 % sont dus à la négligence, à l'absence de surveillance et 49 % ont une origine inconnue (MOL et KÜCÜKOSMANOGLU, 1997). Ces types d'incendies surviennent généralement dans les aires de loisirs, les terrains de camping ou dans leurs environs, dans les zones périurbaines (interface forêt / ville), ou le long des routes principales. C'est ainsi que le très grand incendie de forêt de Marmaris qui a brûlé plus de 7000 hectares en 1996 s'est déclaré dans un terrain de camping. Les incendies de ce type sont généralement dus à l'inconscience de personnes qui ne mesurent pas la forêt à sa juste valeur. Les incendies criminels en Turquie sont allumés pour différentes raisons. Environ 8,8 millions de personnes vivent dans les 17 445 villages situés dans les forêts où dans les environs. Le

niveau de vie de la majorité de ces populations est nettement inférieur à celui de la moyenne nationale. Pour les populations à faibles revenus, les forêts sont une source de profit (BILGILI, 1997). Les gens mettent donc le feu à la forêt pour créer des emplois qui leur permettront de pourvoir à leurs besoins, ou manipulent la végétation pour améliorer et produire les plantes utiles pour le pâturage de leurs animaux. Des conflits personnels entre les populations et les agents forestiers, entre bergers, entre villageois de différentes origines ont aussi été mentionnées comme causes d'incendies. Ces cas cités sont observés en Algérie. Depuis 1988, les rôles se sont inversés avec l'intégration des islamistes dans les milieux forestiers. L'armée applique des méthodes de guerre, met le feu à ces massifs. Selon JUVERLIUS in FAO (2004) « pendant des siècles, l'Allemagne, l'Autriche et la Suisse ont réussi à endiguer les feux de forêts. Ils font des campagnes de sensibilisation pour éduquer leur population sur les fonctions et la valeur de leurs forêts. La Namibie et le Mozambique, par exemple, ont accru la participation des populations dans la gestion des forêts et mené des campagnes de sensibilisation du public. Le résultat est qu'en Namibie, le nombre d'embrasements a chuté de manière significative ». En Chine, selon DONG (2003) le contrôle des causes humaines des incendies devient de plus en plus difficile. Avec le développement économique et social rapide, les routes et les conditions de transport se sont grandement améliorées, le nombre de personnes pénétrant dans les forêts pour des activités de production ou de loisirs est en augmentation. Plus de 800 millions de personnes vivent à la campagne, soit presque l'équivalent de la population de l'Europe et de l'Amérique du Nord (SOFO, 1997 in DONG, 2003). En 1996, le nombre d'incendies a augmenté parallèlement à l'utilisation accrue des feux de défrichage des terres, liés tout simplement à l'augmentation du prix des céréales. Les forêts sont de plus en plus menacées en raison de la déforestation. La Chine possède actuellement la plus grande surface de forêts plantées dans le monde (40 % du total mondial) (SOFO, 1997 in DONG, 2003), et ces forêts continueront à faire face à un risque élevé d'incendies jusqu'à l'établissement de leur canopée. L'accumulation de combustibles forestiers est un autre problème, dû à l'absence d'incendies sur plusieurs années.

En résumé, les feux sont situés le plus souvent en zone périurbaine, en zone touristique estivale ou le long des grands axes de communications.

Depuis la mise en application de nouvelles règles d'appréhension de la cause des feux, les résultats font que la connaissance des causes est meilleure lorsque tous les services interviennent dans la collecte de l'information, qui se fait généralement dans les 5 jours

suivant le départ de l'incendie. Après l'extinction des feux par les pompiers, la gendarmerie mène l'enquête juridique. Le domaine scientifique du phénomène sera traité par des spécialités, intensité du feu, type de propagation, étude de la végétation et de sa reconstitution. Les enquêtes sont faites surtout dans le but de connaître les causes et de revivre le feu pour améliorer les techniques d'intervention.

3-1-Nombre d'interventions des pompiers dans le département des Alpes-Maritimes sur les incendies de forêts et leurs impacts financiers en périodes estivales

Le nombre d'interventions est fonction du nombre de feux. Il ne descend pas au dessous de 200. Le coût de ces dernières est de plus en plus croissant. Le tableau suivant nous donne les impacts financiers, en période estivale, pour quatre années, dans le département des Alpes-Maritimes.

Tableau 26 : Impacts financiers des feux de forêt en période estivale

Années	Dépenses (Millions d'Euros)
2000	2,4
2001	2,6
2002	1,9
2003	5,5

Source : SDIS de Cagnes Sur Mer Com. Pers., 2003

Pour l'année 2003, sur les 5,5 millions d'Euros, 20 % vont aux moyens aériens, 20 % à la logistique- matériel et 60 % aux personnels. Selon RAMPOLLION (2004), dans l'Isère, l'année 2000 a compté 255 interventions pour feux de forêt, sans aucun feu de plus de 10 hectares. L'année 2001 a connu une augmentation de + 43 % par rapport à l'année précédente, soit 367 interventions avec toujours aucun feu de plus de 10 hectares. L'année 2002 a enregistré la même augmentation (+ 43 %), confirmant la tendance (525 interventions). L'année 2003 avec ses 2 212 interventions pour feux de forêt, apparaît comme une année exceptionnelle. On reste dans la même tendance générale mais avec une explosion du nombre d'interventions (augmentation de + 321 %).

4- Classification supervisée sur IDRISI

Avec Idrisi, nous avons réalisé la classification supervisée par maximum de vraisemblance sur l'image satellite SPOT. Cette méthode de détection identification utilise le plus souvent les signatures spectrales mesurées par le capteur pour classifier chaque zone et ensuite les comparer pixel par pixel. Cependant, Selon (BEAUBIEN in CHALIFOUX et *al.*, 1993), cette approche présente des difficultés d'application. En raison de l'hétérogénéité spectrale statistique, elle donne des résultats de faible précision, surtout en milieu perturbé. Le contraire est annoncé par GIRARD et GIRARD (1999), pour qui cette classification est une méthode tout à fait satisfaisante ; mathématiquement, les pixels sont classés à partir d'une probabilité, ce qui est tout à fait souhaitable en télédétection. Plusieurs essais ont été faits avant d'obtenir une carte finale satisfaisante. Il est possible d'améliorer la classification en effectuant diverses itérations. On peut définir la qualité de cette classification, ce qui est essentiel en traitement d'image, en utilisant la matrice de confusion, permettant seule de comparer les résultats de la classification, avec les données de terrain (image brute).

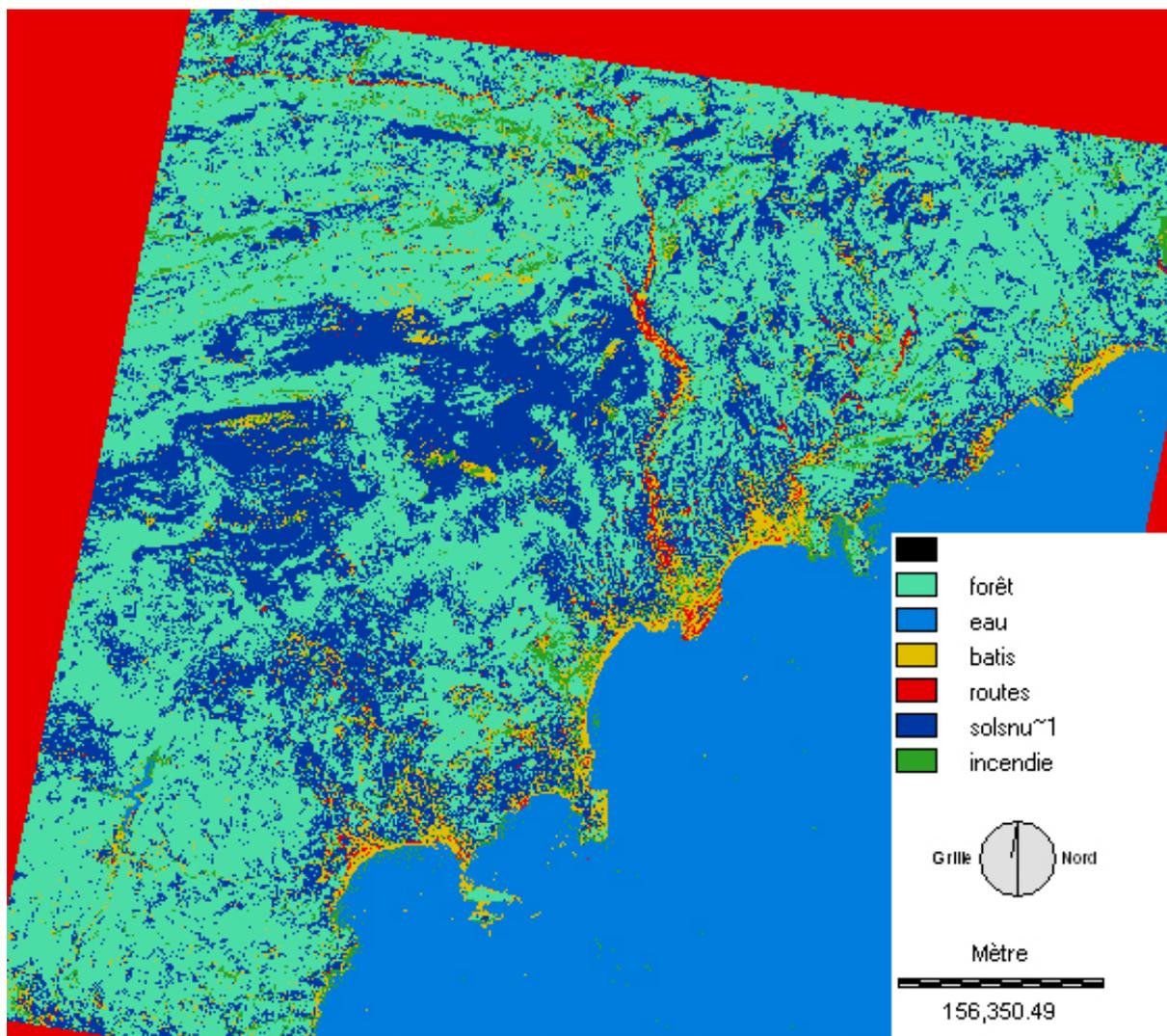


Fig. 81 : Résultats d'une classification supervisée par maximum de vraisemblance
N. HESSAS, 2005

En effet, lorsque nous avons digitalisé les régions d'apprentissage des zones à classifier, plusieurs structures apparaissaient au sein des classes. Par exemple les zones forestières présentaient une différence de réflectance d'un ensemble à l'autre. Les zones enherbées affichaient une autre réflectance. Toutes ces dissimilitudes sont dues à l'humidité des végétaux. L'eau influence la réflectance en absorbant le rayonnement infrarouge, ne laissant paraître qu'un faible réfléchissement.

La classification montre que plus de la moitié des zones de l'image sont représentées par deux couleurs dominantes, le vert clair qui correspond à des zones forestières potentielles, et le bleu foncé aux zones vides (sols nus). La zone incendiée est répartie sur toute la carte, représentant des petites taches. Nous avons effectué plusieurs zooms sur l'image classifiée, représentant la couche des zones incendiées potentielles, à des endroits différents. La

première correspond à une zone incendiée en 2001 juste après la prise de l'image, située, à la limite Nord Est de l'image (figure 82).

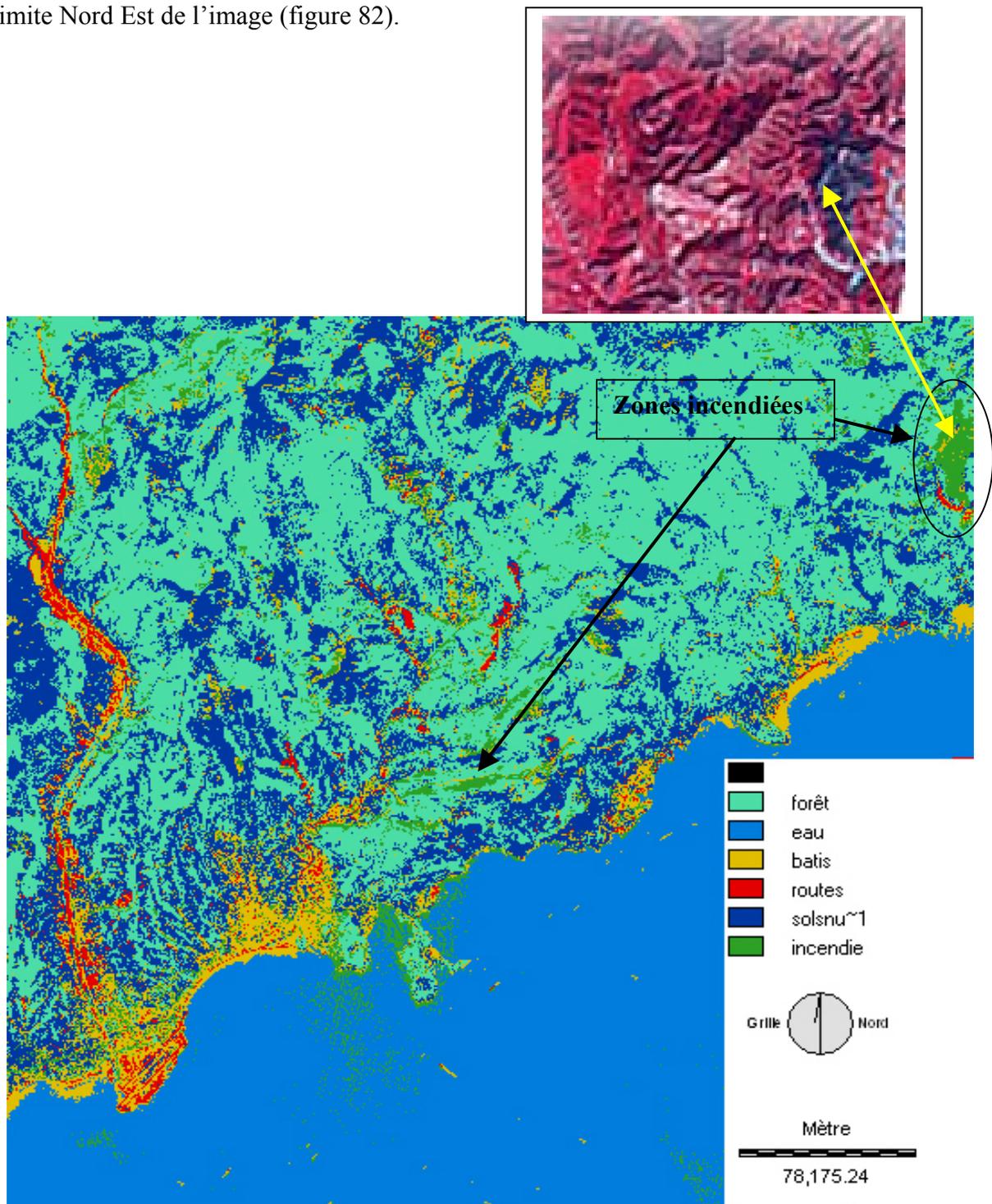


Fig. 82 : Zoom sur des zones incendiées

N. HESSAS, 2005

A cette échelle et à cette résolution spatiale, les routes sont difficiles à déterminer. C'est par leur forme linéaire qu'on a pu les visualiser ; la rivière correspond également à un linéaire. Le cours d'eau est entouré de chaque côté par des habitations. Les parcelles cultivées

sont difficiles à identifier, elles ne présentent pas une structure homogène. Entre zones agricoles et zones herbacées, la distinction n'a pas été faite. L'interprétation se complique pour distinguer les zones de végétation. La zone forestière est bien lisible. Les forêts se manifestent sous la forme d'étendues très homogènes, la réflectance variant peu d'un endroit à un autre. C'est le type de représentation le plus usité d'une image SPOT, grâce à sa composition colorée. L'intensité de la couleur rouge est proportionnelle à la densité végétale et à l'humidité des feuilles. Si on base notre classification sur l'humidité des végétaux, le fait que l'image est prise en septembre constitue une gêne, l'absence d'humidité dans les végétaux ainsi que la différence entre les compositions et les structures des espèces - par rapport à la simple étude des réflectances par le feuillage - sont extrêmement difficiles à établir. Sur l'image affichée, on peut remarquer que la réflectance de la zone humide forestière diffère de celle de la zone humide non humide lorsqu'on zoom sur ces éléments. Les zones forestières sèches, par contre, présentent une réflectance beaucoup plus hétérogène, correspondant aux différentes ceintures végétales. Ces zones ont été classées dans le même ensemble, bien que chaque mode d'occupation du sol présente une radiométrie et une structure unique. L'ombre joue aussi un rôle dans la réflectance. La zone incendiée présente une couleur sombre gris foncé qui vire surtout vers le noir. Lors de la digitalisation des témoins, nous nous sommes basés sur cette tache (figure 82). La classification a identifié d'autres endroits où le feu s'est déjà propagé. Or, sur l'image SPOT, ces taches sont moins foncées, correspondant à des zones défoliées. Plusieurs hypothèses sont émises:

- soit il s'agit d'un secteur brûlé où la reconstitution végétale n'est pas encore faite,
- soit l'intensité du feu a été faible,
- soit la composition et la structure des arbres sont différentes, calcinés, morts, absence d'humidité, avec une réflectance différente par rapport aux arbres vivants.

L'interprétation faite sur les photos aériennes dans un premier temps et l'interprétation assistée par ordinateur (numérisation et classification supervisée) réalisée sur l'image SPOT dans un second temps ont permis de fournir une cartographie très fine des zones forestières. Durant toute cette période, les changements constatés sont conséquents et présentent des mutations régressives alarmantes. Les zones forestières identifiées comme aires dégradées à très dégradées sont dans la majeure partie, les résultats des incendies de ces trois dernières décennies, représentés par les sols nus. Le facteur de dégradation le plus redoutable de la forêt est, sans conteste, l'incendie en raison des conditions favorables à son éclosion et à sa

propagation. L'étude des conséquences écologiques des feux repose notamment sur une bonne connaissance de la reprise végétale après incendie. Or, l'ampleur des zones sinistrées et la forte dimension temporelle du phénomène limitent l'emploi des techniques classiques telles que les mesures de terrain ou l'interprétation des photographies aériennes. Les données satellitales d'observation de la terre (ex. données SPOT), deviennent alors une information très intéressante à exploiter. Grâce à la radiométrie, sur l'image SPOT, on peut détecter la reprise végétale après feu. Les facteurs qui aident à la compréhension de cette revégétalisation sont la présence ou l'absence de l'eau. Les incendies de forêts engendrent des modifications fondamentales de l'occupation du sol et donc des écoulements. La végétation est en effet totalement détruite. Elle laisse alors la place à un sol nu, avant de se reconstituer au fil du temps, suivant une dynamique conditionnée par des facteurs aussi divers que la composition du peuplement d'origine, sa résilience, la diversité spécifique des peuplements voisins, la fertilité du substrat... DARGOGNE et *al.*, (1990) ont démontré l'intérêt des données SPOT et landsat TM pour constater les dégâts d'un incendie et suivre la reprise végétale. La comparaison entre une image enregistrée avant incendie et une image après incendie aboutit à une cartographie plus précise. Il est même possible de simuler la propagation de l'incendie. La surface brûlée est très visible.

5-Analyse en composante principale : ACP

Les longueurs d'ondes les plus exploitées en télédétection concernent essentiellement des domaines optiques situés au-delà du visible, donc de l'œil humain. Les fenêtres spectrales de l'infra rouge permettent ainsi de mieux appréhender l'état végétatif des forêts, l'humidité des sols ou bien la hiérarchisation du bâti urbain. La télédétection mesure avant tout les propriétés des surfaces en terme d'énergie (exprimée en watt par mètre carré) et non de simples différences de teintes entre objets décelées par photo interprétation (DEDIEU, 1993). L'analyse en composantes principales (ACP), fait partie des transformations orthogonales, dont le principe de base consiste à développer le signal-image sur la base de fonctions orthogonales entre elles (JOLY, 1986). Concrètement cela revient à rechercher dans l'espace des radiométries d'une image, les axes de plus grande variance. Ces axes sont perpendiculaires les uns par rapport aux autres et porteurs d'une information « décorrélée » d'un axe à l'autre. Le premier axe est généralement porteur du maximum d'informations en terme de variance (80,90 %). Le second porte beaucoup moins (10,20 %) et ainsi de suite

(FORSTER, 1985). Dans notre cas, la figure présente les trois composantes principales calculées sur l'image Spot. La variance (en pourcentage) exprimée est de :

- 87,58 % de l'information de l'image d'origine est contenue dans la première composante principale (c'est à dire le premier axe),
- 11,72 % pour la seconde composante, qui apporte une information intéressante sur La partie urbaine.
- et de 0,70 % pour la troisième qui donne très peu d'information.

Seule l'étude du premier axe paraît intéressante (figure 83). Il s'agit de l'axe sur lequel les valeurs des pixels, sont le plus étalées, donc, possédant le maximum d'informations.

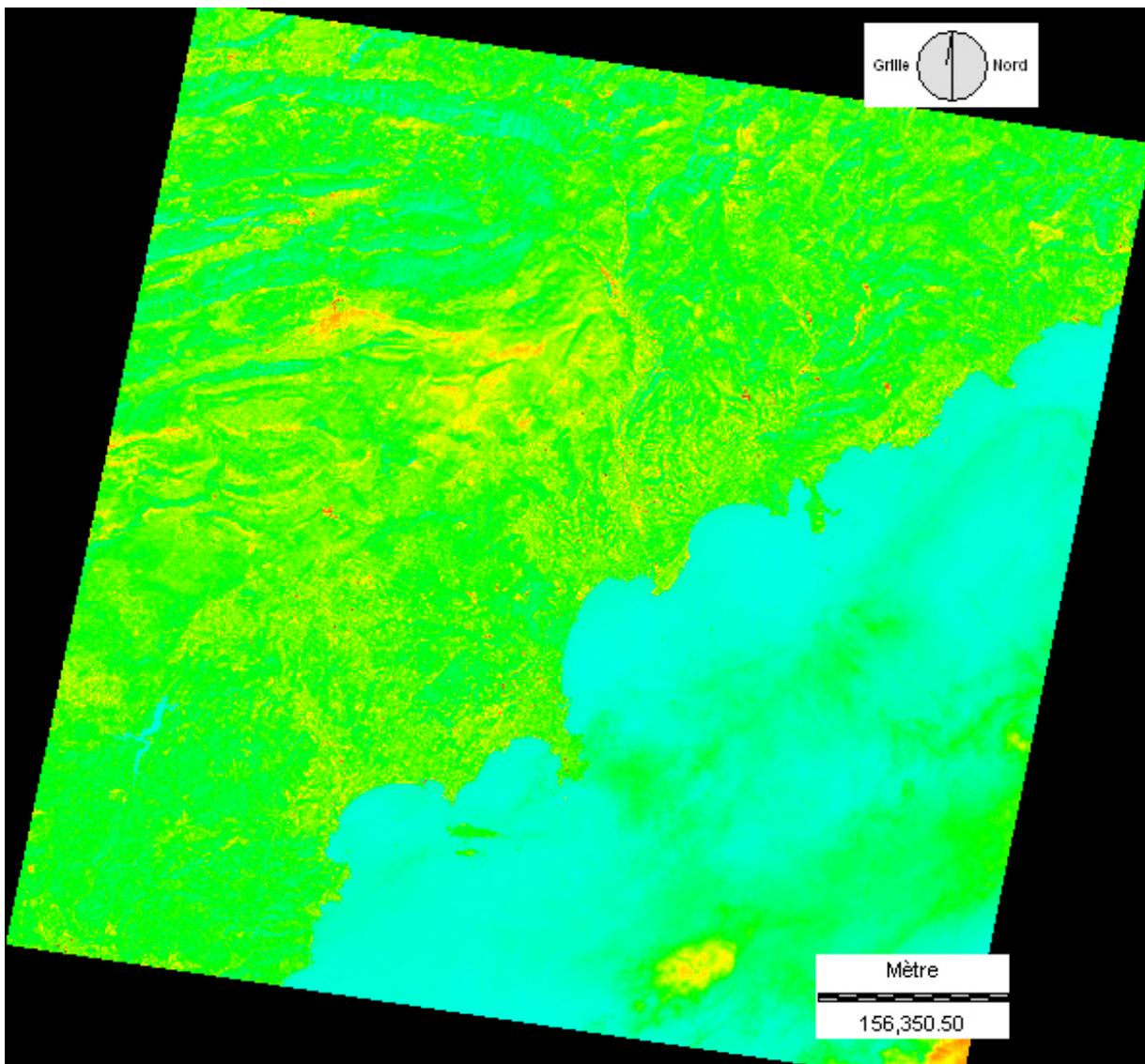


Fig. 83 : Image de l'axe 1 de l'ACP affichée avec la palette Quant 256

Conception : N. HESSAS, 2005

Deux couleurs dominantes s'affichent. L'eau, ne réfléchissant pas dans la longueur d'onde du rayonnement infrarouge, donc absorbant la totalité des ondes, est représentée par l'ensemble des pixels proches de la valeur 0. Lorsqu'on analyse l'histogramme du premier axe de l'ACP (figure 84), on s'aperçoit qu'il existe un pic radiométrique au niveau des pixels présentant la valeur 0.

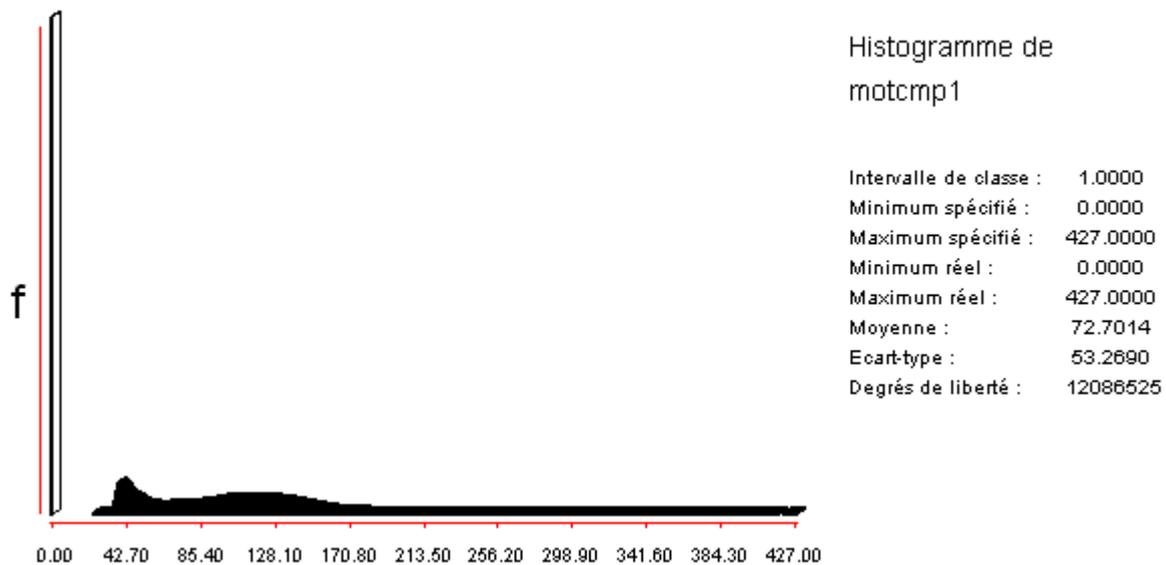


Fig. 84 : Histogramme de l'image, représentant le premier axe de l'ACP

La valeur semblant caractériser l'eau est donc 0 (couleur noir sur l'image du premier axe de l'ACP) ; le pic radiométrique pour cette valeur est exagérée sur l'histogramme. Il prend en compte l'ensemble des pixels autour de l'image qui apparaissaient également en noir sous le logiciel Idrisi. Le résultat montre que la sécheresse est trop importante au moment de la prise de l'image. Peu de zones végétales, avec des taches bleu ciel, sont visibles, voire très rares. Il n'est pas évident de dire que ces zones sont humides. Il s'agit d'un milieu totalement sec, d'un dessèchement du sol, après plus de trois mois sans pluie. Selon Météo France, le Sud de la France est gravement touché depuis 2001 ; le déficit pluviométrique, commencé au mois d'août avec 0 mm de pluie à Saint-Raphaël (Var), et Grasse (Alpes-Maritimes), se poursuit et s'accroît. L'année 2001 est une année de perturbations climatiques pour toute la France avec des inondations dans certaines communes et la sécheresse dans d'autres. Pour Météo France, si l'année 2001 est une année excédentaire en eau sur les deux tiers Nord du pays il n'en est pas de même pour le Sud-Ouest, le Sud-Est et la Corse, déficitaires. Le site <http://la.climatologie.free.fr>, pour la période du 18 au 25 / 06 / 2001 signale une canicule sur

l'ensemble du pays. Plusieurs dates mentionnent des inondations dans le Nord de la France en 2001. L'ACP obtenue montre cette sécheresse, qui s'étale sur toute la surface de la région concernée. Ce qui explique pourquoi ces zones sont qualifiées de très vulnérables au feu. Compte tenu de la conjonction de dessèchement superficiel, et peut être profond de ces sols, des incendies sont susceptibles de se déclarer en toutes conditions. D'après le site Sénat.fr, l'année 2001 a été particulièrement difficile, en raison d'une sécheresse précoce et exceptionnelle mais aussi de vents durablement violents qui ont créé un niveau de danger inégalé depuis 1989. Sur l'ensemble des départements méditerranéens, 2 430 départs de feux ont eu lieu en 2000 et 2 786 en 2001. 18 500 hectares ont été incendiés en 2000 et 17 970 hectares en 2001. Ce bilan est assez inquiétant au regard de la moyenne annuelle des dix dernières années (13 165 hectares).

6-Conclusion de la partie du chapitre VI portant sur l'analyse statistique et cartographie des feux de forêts

Partout on constate que le littoral est principalement exposé en été. La chaleur et la sécheresse, qui coïncident avec la fréquentation touristique s'y conjuguent pour créer des situations à très haut risque. Ailleurs les feux sont souvent plus étalés dans l'année et les origines des sinistres sont parfois très différentes. L'activité agricole et pastorale porte une lourde responsabilité. Le pic enregistré dans les Alpes-Maritimes au mois de mars est incontestablement lié aux pratiques incontrôlées d'écobuages. La persistance de ces pratiques, conjuguée à une importante déprise rurale qui accroît l'embroussaillage des massifs est l'une des principales causes des incendies. Ces feux, comme ceux causés par la foudre en zone de montagne, prennent parfois une grande extension car situés assez loin des centres de secours et dans des zones mal équipées pour la lutte (absence de voies d'accès, de points d'eau...). Cette dernière remarque soulève la question de l'influence des dispositifs de lutte dans les résultats observés. S'ils n'ont que peu de prise sur les départs de feu, ils pèsent en revanche sur les surfaces incendiées. Les principaux moyens de secours, permanents ou temporaires, sont concentrés près des littoraux et des zones urbaines. L'éloignement et les conditions de lutttes difficiles, expliquent en partie la taille relativement importante des incendies dans certains secteurs reculés comme Saint Etienne de Tinée dans les Alpes. D'une manière générale les arrières pays sont moins desservis. A l'inverse il est indéniable que le dispositif, mis en place, en particulier le renforcement des moyens et la surveillance forestière

pendant l'été, diminuent considérablement les dégâts durant cette période dans les massifs littoraux qui malgré cela, restent ceux qui paient le plus lourd tribut au feu. Les moyens de lutte et leur répartition contribuent donc à niveler les statistiques des superficies brûlées. Malgré cette nuance, il est certain que les incendies ne se cantonnent ni à l'été ni aux régions méditerranéennes. L'assise communale des statistiques et l'absence de spatialisation des feux rend la cartographie très imprécise. On pourrait envisager de la moduler en tenant compte des espaces naturels : Il est bien évident par exemple que ce n'est pas le centre ville de Nice qui brûle. Mais cette opération empirique, resterait très aléatoire d'abord parce qu'elle ne permet toujours pas de tenir compte de l'extension réelle des grands feux étalés sur plusieurs communes, ensuite parce qu'évidemment au sein d'un même territoire communal les niveaux de sensibilité de la végétation peuvent être très inégaux.

Les causes des incendies commencent à être prises en compte. La biodiversité est plus touchée par ce phénomène, surtout causé dans la majorité des cas par l'Homme. Selon WOODS, 1989 in NASI et *al.* (2001) le feu peut tuer pratiquement toutes les plantules, les bourgeons, les lianes et les jeunes arbres qui ne sont pas protégés par une écorce épaisse. Les dommages causés au matériel génétique et aux plantules retardent la régénération des espèces. Le niveau de régénération et le besoin d'intervention de récupération dépendent de l'intensité du brûlage (SCHINDELE, THOMA et PANZER, 1989 in NASI et *al.*, 2001). Les incendies répétés d'une intensité élevée créent la perte de cet équilibre. Les feux d'une très forte intensité ont un impact négatif considérable sur la diversité des plantes. Selon SCHVIDENKO et GOLDAMMER, 2001 in NASI et *al.*, 2001) à Primorsky Kray (Fédération de Russie), des feux d'origine humaine ont contribué à réduire de façon draconienne les populations de 60 espèces de plantes vasculaires, de 10 champignons, de huit lichens et de six espèces de mousses au cours des deux ou trois décennies.

B- Evolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du Paillon : étude diachronique par télédétection des trois années 1955, 1977 et 1990

Hormis les catastrophes naturelles, l'homme est le principal agent de transformation et de destruction du couvert végétal et de la biodiversité qui y est associée. Ces perturbations ne sont pas continues, mais ponctuelles ; à un moment donné, elles ne couvrent qu'une faible partie de l'espace. Analyser leur impact sur le paysage et l'écosystème nécessite donc une

observation à long terme sur de vastes superficies. L'imagerie aérienne répond à ces objectifs. La réalisation d'une étude diachronique du Paillon, par le biais de photographies aériennes et de l'image satellitaire, permet de cerner des dimensions spatio-temporelles très précises, telles que la progression du front d'urbanisation, les zones incendiées ou encore l'emprise de la forêt sur les espaces agricoles. Ces images aériennes ou satellitaires constituent des outils de travail remarquablement appropriés, pour appréhender les modifications de l'occupation du sol dans un milieu dynamique, en évolution constante comme les milieux incendiés et urbains. Elles révèlent plus facilement l'occupation du sol et reproduisent la surface avec beaucoup d'exactitude. En effet, les transformations rapides et incessantes que connaissent de nos jours les milieux, nécessitent une observation minutieuse, en vue de planifier les espaces. Cette partie est donc une présentation des résultats observés tout au long de notre analyse : croisement de données pertinentes par le biais d'un SIG, identification de la nature des mutations constatées, délimitation de chaque secteur ayant été modifié, confrontation avec le zonage des risques naturels. Ainsi, le fait de confronter nos résultats au PPR permet d'apporter de nouveaux éléments à notre démarche analytique. Nous pourrions ainsi constater si le zonage des risques a été respecté en terme d'urbanisation, ou si au contraire, il existe des secteurs où délibérément les limites de ces zones ont été repoussées.

1-Cartographie de chaque variable prise en considération, en relation étroite avec le phénomène risque incendie

Les mises à feu sont rares en plein massif. Elles sont essentiellement localisées à proximité des activités humaines, en bordure d'habitations ou de routes et dans les espaces naturels non boisés : landes, garrigues et friches. Les sources de départs de feux ont tout d'abord été identifiées statistiquement à partir de l'inventaire des causes d'incendies de forêts les plus fréquentes, déjà étudiés, puis, à dire d'experts, de la manière suivante :

- le réseau routier, quelque soit le type de voies,
- les interfaces entre zones boisées et zones habitées,
- les interfaces entre zones boisées et zones agricoles,
- les réseaux électriques, basse et moyenne tension,
- le réseau ferré,
- les dépôts d'ordures en contact avec les zones boisées.

En fonction des sources de départ citées ci dessus, des unités spatiales sont distinguées à partir des variations de texture par photo interprétation. Les catégories d'occupation du sol suivantes ont été retenues suivant les lieux d'éclosion :

- réseaux routiers,
- milieux urbanisés,
- milieux agricoles,
- milieux arbustifs, arborés et herbacés,
- milieux incendiés,
- réseau hydrographique et mer

La digitalisation terminée, chaque variable représentée sous forme de polygones peut être spatialisée, ce qui permet de connaître sa surface en kilomètres carrés afin de pouvoir faire des comparaisons logiques avec la surface totale, 477 km², du bassin versant. Chaque variable étudiée, tels que les espaces anthropisés en 1955, en 1977 et en 1990 doit être superposable, permettant ainsi la comparaison. Dans notre cas, la superposition des variables n'est pas parfaite (cf. figure 36). Ainsi, lors de la comparaison entre 1955, 1977 et 1990, c'est au centre des orthophotographies que l'on constate le plus grand décalage, au milieu du document, au niveau du lit du cours d'eau du Paillon. Les décalages s'expliquent du fait des quelques erreurs citées dans le chapitre V. On peut également affirmer que la méthode d'interpolation des points a une grande part de responsabilité. Malgré ce constat, nous avons pu mener à bien l'analyse de l'évolution du bassin versant du Paillon :

C'est sous forme de données spatiales et attributaires, que chaque variable étudiée a été représentée par le biais de la création de documents cartographiques. Le rôle du SIG consiste à établir les liens existants entre les données spatiales et attributaires. Dans notre cas, les caractéristiques linéaires ainsi que le géoréférencement de chacune des variables correspondent aux données spatiales. Il est possible de quantifier des surfaces d'un milieu montrant ainsi l'état de l'occupation du sol à un moment donné. Ces données attributaires, quant à elles, sont représentées en tant que surfaces quantifiables ; l'ensemble de ces informations est géré par couches. Chaque variable de par sa surface en 1955, en 1977 et en 1990, permet ainsi de mettre en évidence son taux d'augmentation ou au contraire son taux de diminution. L'intérêt est d'établir à terme un bilan de l'évolution du milieu naturel, et du milieu urbanisé, en relation avec les éclosions et la propagation du feu. Pour arriver à nos fins, après traitement des photographies aériennes et croisement des données requises, nous avons

mis en évidence les caractéristiques du bassin en isolant chaque variable, afin d'étudier les transformations apportées au niveau de l'aménagement de l'espace naturel.

1-1-Milieu urbanisé : évolution du rapport Homme / Milieu, constatée entre 1955, 1977 et 1990 dans la bassin versant du Paillon

On va tenter d'expliquer dans cette partie **de quelle façon et par quels moyens, la vallée a évolué de manière à privilégier l'urbanisation ?** L'objectif est d'identifier la nature des évolutions observées à la fois dans le milieu urbanisé et dans le milieu naturel. Le bassin versant du Paillon est très représentatif des montagnes, et reste un lieu privilégié pour les incendies de forêt. L'intérêt d'étudier une vallée de ce genre réside dans le fait que nous ne pouvons plus dissocier la dynamique des versants actifs de celle de l'intensification de la périurbanisation. Comment gérer l'interface entre l'homme et son milieu naturel, dès lors que le Paillon est une vallée sensible qui s'urbanise ? Dans ce type de vallée, l'extension urbaine face aux processus de versants actifs n'est elle pas un problème majeur qu'il faut traiter sans relâche pour ne pas être confronté un jour à l'irréparable ? La gestion de cette interface entre le milieu et l'urbanisation est problématique. Ces deux ensembles si différents et pourtant si complémentaires, évoluent sans cesse. De ce fait, il ne faut surtout pas ignorer le passé, afin de pouvoir appréhender l'avenir dans de bonnes conditions.

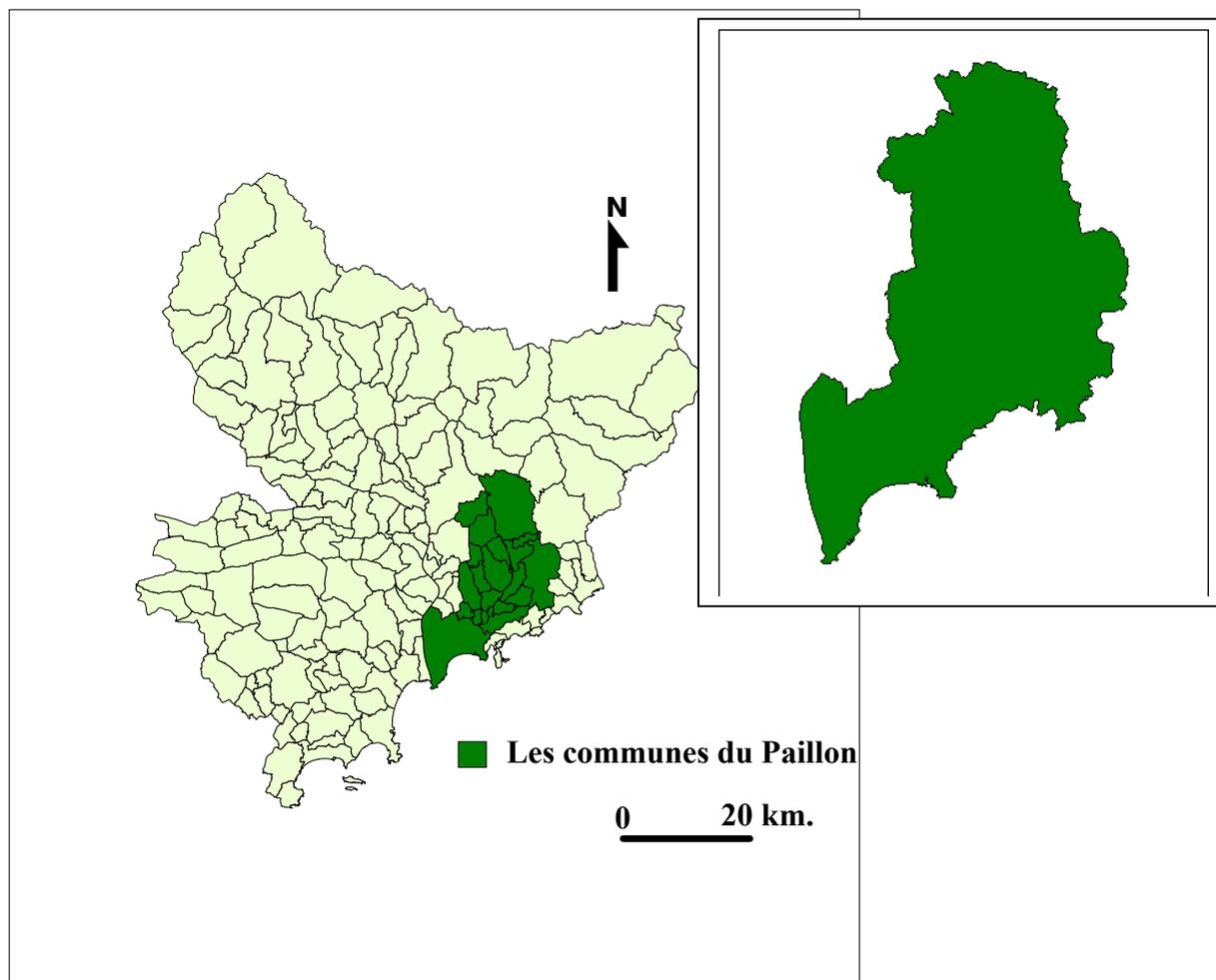


Fig. 85 : Les communes appartenant au bassin versant du Paillon

N. HESSAS, 2005

Pendant ces années d'étude, dans le bassin versant du Paillon, un grand nombre de modifications ont été apportées, en terme d'aménagement, dans le milieu naturel et urbain. Grâce à notre travail de recherche, notamment bibliographique et aux consultations des PPR, nous avons pu déceler un changement de mentalité, lié à des constats d'échecs, admettant l'idée qu'il faille préserver le milieu naturel. De nombreux incidents dénombrés dans le bassin versant du Paillon, ont facilité la mise en place de systèmes de gestion qui se sont avérés efficaces au fil des années (PER, PPR, étude des zones à risques, projets d'aménagements,...). L'analyse de la densité et de la distribution spatiale est riche d'enseignement. On distingue divers éléments de construction d'une forme, les différents habitats, les divers quartiers d'une ville et les diverses zones d'urbanisme d'une agglomération. L'habitat est très regroupé. On constate que les habitations se développent le long des routes et du réseau hydrologique, le Paillon. Vers l'intérieur, on trouve des parcelles agricoles, ensuite viennent les friches et les forêts. Le relief joue un rôle important dans l'occupation du sol. Le risque d'éclosion des incendies résulte de la combinaison d'indices de risques élémentaires relatifs à l'habitat, aux

lieux de fréquentation humaine, aux lignes EDF et voies SNCF, au réseau routier et à l'inflammabilité de la végétation. Selon les critères suivants, nous avons pu représenter le milieu urbanisé en 1955, en 1977 et en 1990

- | | | |
|---|---|---|
| 1- voies de communications | → | Espaces linéaires bétonnés |
| 2- les parkings, les zones industrielles et artisanales | → | Grandes zones bétonnées |
| 3- les zones de lotissements, les maisons individuelles | → | Mitage spécifique des zones urbaines : regroupement de petites taches ou taches isolées |

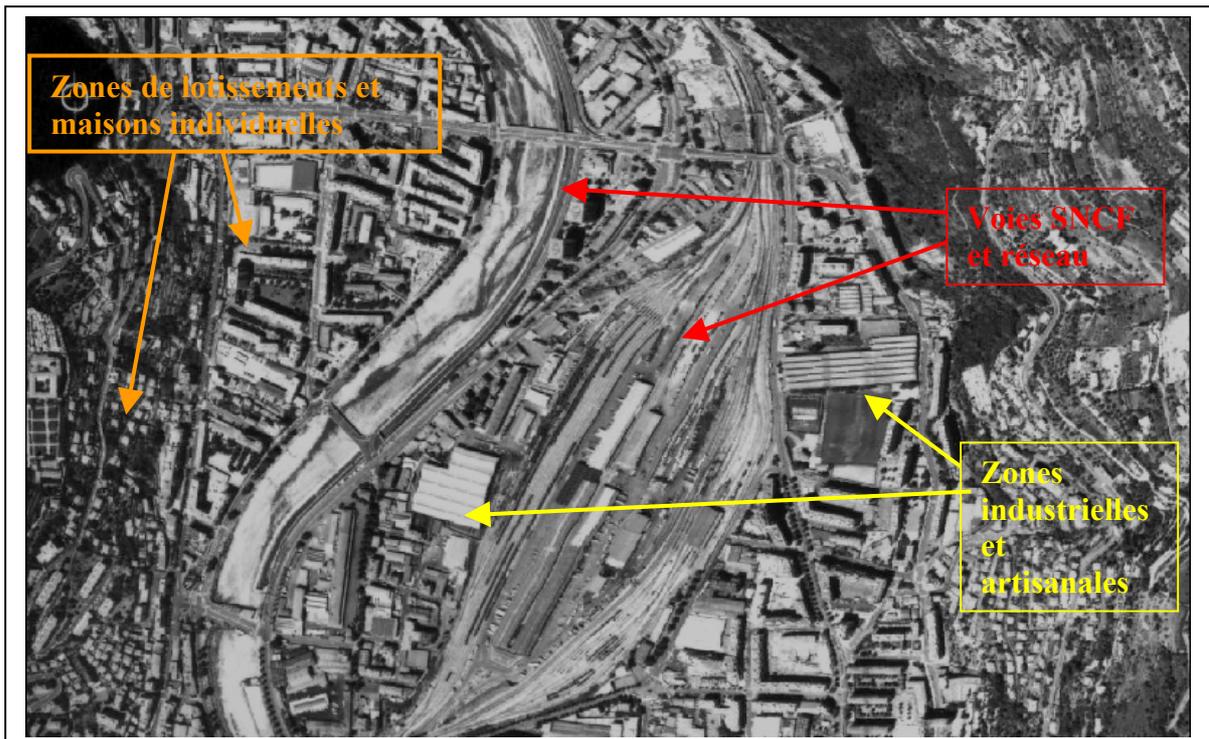


Fig. 86 : Aperçu d'un milieu urbanisé du bassin versant du Paillon, dans les Alpes-Maritimes

N. HESSAS, 2005

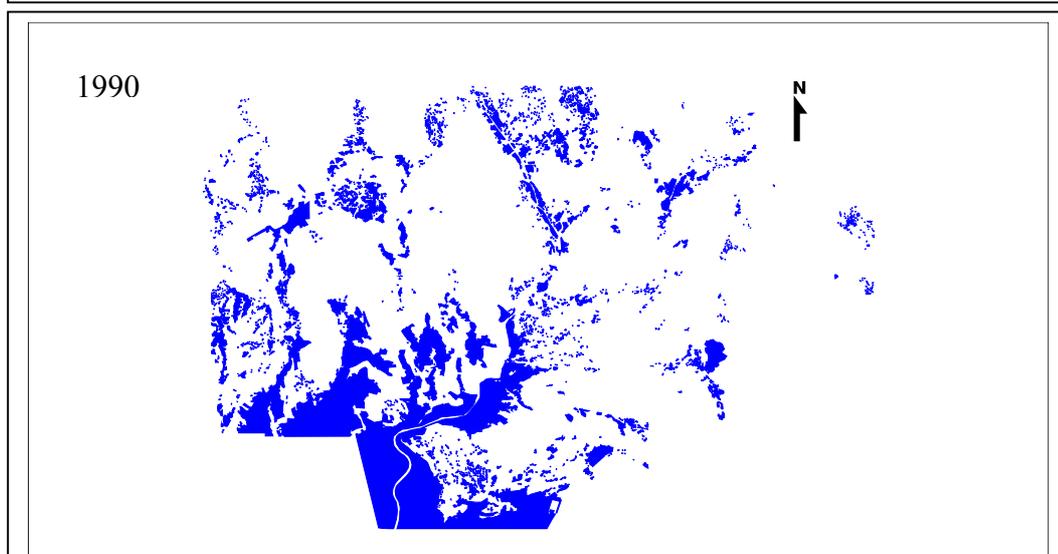
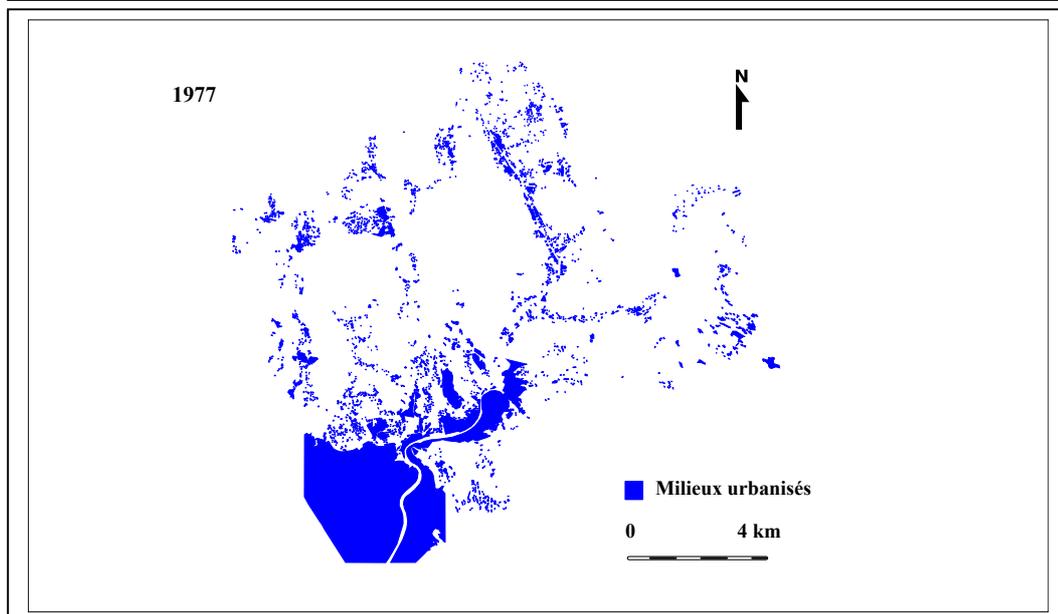
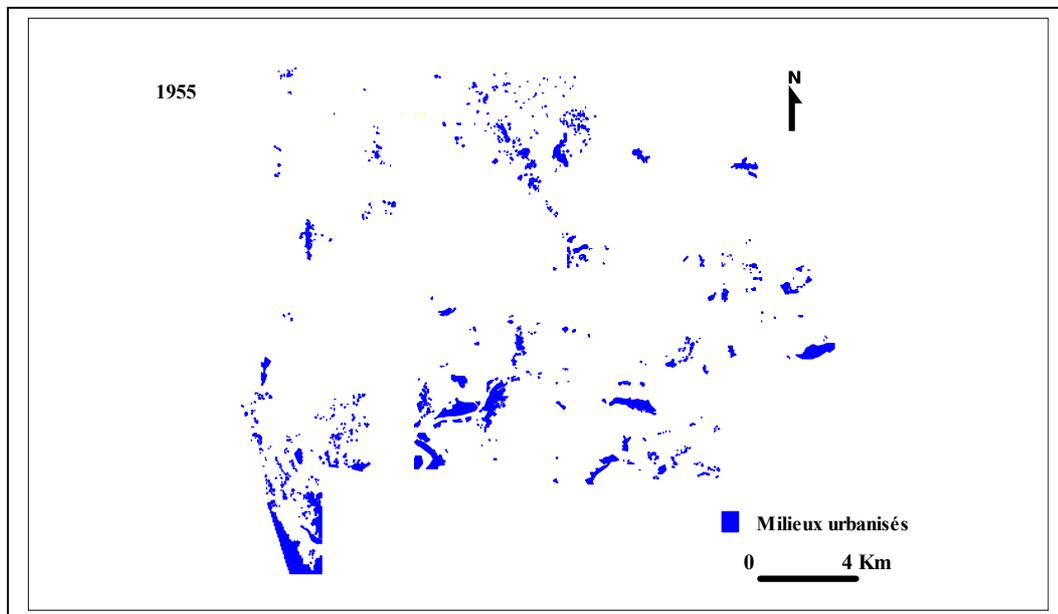


Fig. 87 : Bilan et cartographie de l'extension de la zone urbanisée entre 1955, 1977 et 1999, dans le bassin versant du Paillon.

N. HESSAS, 2005

Ces trois caractéristiques rassemblées, composent le milieu urbanisé dans l'ensemble du bassin versant du Paillon. Le tableau et la figure suivants ne comptabilisent pas les voies de communications, elles sont toutes représentées par des lignes. Le calcul n'est fait que pour les polygones.

Tableau 27 : Surfaces du milieu urbanisé, calculées à partir des documents cartographiques n° 78 grâce au logiciel Map info

Milieux urbanisés	1955	1977	1990
Surface totale (km ²)	11,27	51,30	77,42

N. HESSAS, 2005

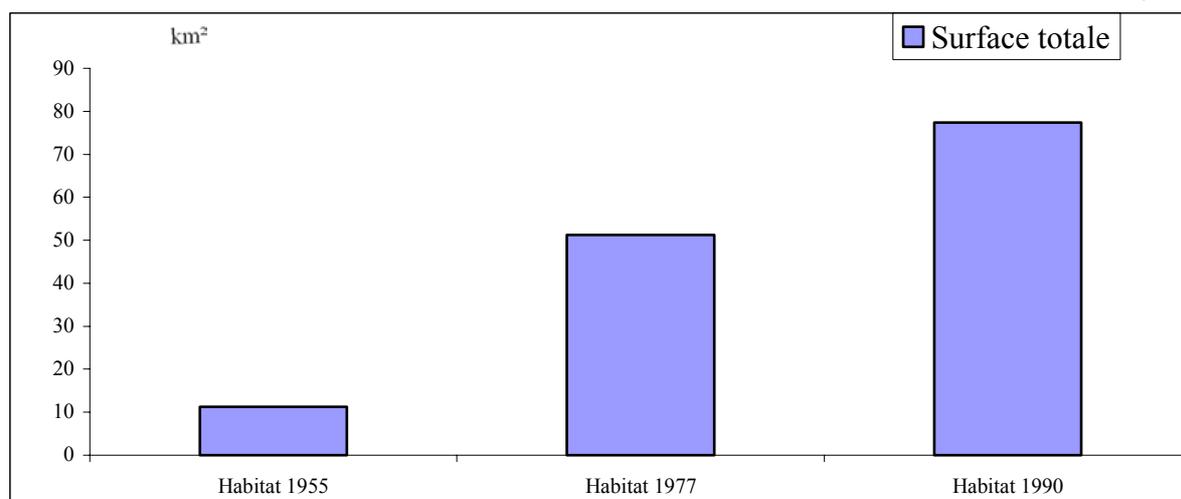


Fig. 88 : Evolution du milieu urbanisé pour 1955, 1977 et 1990 dans le bassin versant du Paillon

N. HESSAS, 2005

D'après la figure 87 et le graphique 88, on remarque que la surface de ces espaces a augmenté, en trente cinq ans, en passant de 11,27 km² en 1955 à 51,30 km² en 1977 à 77,42 km² en 1990. Cette constatation se confirme également par le recensement établi par l'INSEE de 1861 à 1999 prenant comme exemple la commune de Nice dont la population a été multiplié par 7,16 en cent trente huit ans. En 1954, on notait une population de 244 360 habitants, alors qu'en 1990 le recensement donne 345 674 habitants (figure 89).

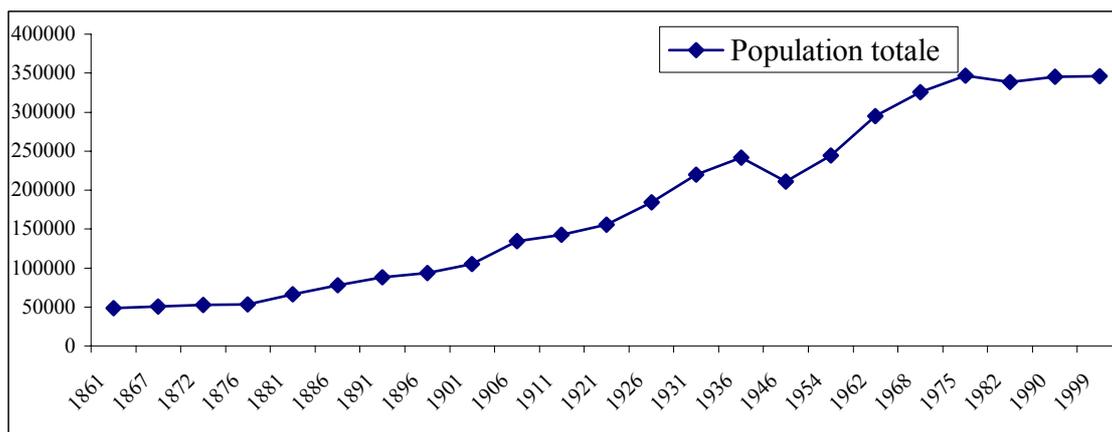


Fig. 89 : Evolution de la population niçoise de 1861 à 1999.

Source : INSEE, 2001

Réalisation : N. HESSAS, 2005

La population a été multipliée par 1,41 en trente six ans, ce qui est en rapport avec l'augmentation des surfaces urbanisées. On note donc un accroissement démographique certain dans tout le bassin versant. Ce phénomène a cependant évolué de manière différente en fonction des lieux d'implantation. Au cours des trente cinq dernières années, dans la vallée du Paillon, l'espace périurbain n'a cessé de croître. Son implantation fait d'elle une vallée fortement influencée par la dynamique de ses versants. Par conséquent, le milieu naturel et le milieu urbanisé, par définition si différents, sont en constant rapport de force, puisque l'un comme l'autre sont en relation directe. Selon JAPPIOT (2000) une récente étude de la DIREN a montré qu'en 8 ans, l'accroissement de 7 % de la population a entraîné une consommation de 22 % du territoire. Cette croissance urbaine s'est faite au détriment des espaces agricoles et forestiers, le plus souvent sous forme de mitage. Avec une croissance démographique prévue de 20 % entre 1990 et 2020, la région Provence-Alpes-Côtes-d'Azur devrait avoir 900 000 habitants supplémentaires d'ici 20 ans. De nouvelles formes d'organisations spatiales et, de pratiques sociales complexifient considérablement les interfaces depuis quelques décennies. Elles sont liées au phénomène de métropolisation, caractérisée par une mobilité croissante des habitants et l'émergence de nouveaux types d'espaces périurbains. Ces nouvelles configurations spatiales intégrant plus ou moins les massifs de végétation « naturelle » ont des fonctionnalités liées aux espaces urbains : zones résidentielles, de loisirs ou d'activités économiques. Elles rendent totalement obsolète « la durable distinction de l'urbain et du rural » (FERRIER, 1998 in JAPPIOT, 2000) en lui supplantant « l'indissociabilité rural/urbain » (BERTYRAND et MARCELPOIL, 1999 in JAPPIOT, 2000) lisible à plusieurs échelles du territoire.

1-1-1-De la périurbanisation.... à l'augmentation des risques

L'Homme cohabite avec la nature : ce rapport est plus ou moins marqué selon les caractères, les rythmes de vie, les habitudes, les endroits... mais en règle générale, l'homme est constamment confronté à son environnement. Le fait marquant dans cette étude de l'évolution du bassin versant du Paillon, est que la relation Homme / milieu s'avère être délicate, fragile et fluctuante. L'Homme qui cherche toujours le confort trouve dans cette vallée un climat doux en hiver et du soleil présent presque toute l'année. Actuellement, les Alpes-Maritimes sont devenus un refuge pour les retraités. Une population nombreuse quitte le Nord pour le Sud de la France, et de l'Europe. Le nombre d'habitants ne cesse d'augmenter, atteint le maximum en été avec les touristes, confirme l'extension des milieux urbains et la vulnérabilité des milieux naturels face au risque incendies. La périurbanisation s'est énormément développée et on peut même parler de pressions sur des espaces naturels devenus de plus en plus convoités par des populations à la recherche d'espace et de mieux-être. Cette diffusion, à terme, peut s'avérer dangereuse : pollution, encombrement de la vallée, augmentation de la vulnérabilité des habitants.... Pour récapituler, l'Homme a profité de ce qui avait été mis à sa disposition, a commencé à vivre et à évoluer grâce à son environnement naturel. De nos jours, il vit dans la même optique. L'évolution étant synonyme de progrès, l'Homme cherche à progresser et à vivre de mieux en mieux souvent de plus en plus proche de la nature, sans se soucier des risques encourus. L'Homme n'a peut être pas tout à fait intégré l'idée que la nature évolue elle aussi et que les conséquences ne sont peut être pas toujours favorables aux activités humaines. Tous les phénomènes de périurbanisation sont devenus choses courantes, encombrant de plus en plus les vallées et accentuant par conséquent la vulnérabilité de chacun face aux risques encourus. Dans le bassin versant du Paillon, cette situation est flagrante et ceci nous a donc poussé à étudier les phénomènes en cause, afin de mieux comprendre ce rapport quelque peu ambigu.

On remarque que pour les espaces naturels seuls, où le risque de propagation dépend de la matière combustible, le risque d'éclosion reste relativement faible. Comme cela a été dit, la majorité des incendies déclenchés dans le département sont d'origine humaine. En revanche pour les espaces anthropisés, le risque de propagation reste faible, il varie selon le degré d'artificialisation des espaces. Les configurations de contact entre espaces naturels et anthropiques posent des problèmes majeurs en terme de gestion territoriale. Dans les espaces méditerranéens, la question des interfaces nature / activités humaines a, en particulier, des

implications dans le risque d'incendie. En effet, celui-ci résulte de la présence simultanée des facteurs naturels et anthropiques, d'aléa et de vulnérabilité au feu du milieu. La présence de l'homme en forêt ou à son contact risque de multiplier les départs de feu. En l'absence de politique urbaine, le mitage va entraîner une augmentation des interfaces habitat – forêt. Les feux seront par ailleurs plus difficiles à combattre, à cause d'une biomasse combustible croissante. La prévention des risques d'incendies implique une politique d'entretien et de gestion de ces espaces, notamment aux interfaces. Les interfaces entre espaces anthropiques (périurbains ou agricoles) et naturels (forestiers ou sub-forestiers) peuvent être linéaires (lisières), ou surfaciques (marges). Ces zones d'interactions marquent une rupture, plus ou moins brusque, dans l'espace entre la portion d'un massif restée essentiellement dominée par des processus naturels et une partie où dominant les processus anthropiques. La dynamique anthropique de modification d'une zone naturelle est plus ou moins apparente, c'est à dire matérialisée par des structures (depuis la piste en terre jusqu'à la surface bâtie).

De l'étude cartographique confrontant la répartition du milieu urbanisé et du zonage des risques naturels dans le bassin versant du Paillon, nous pouvons tirer la leçon suivante :

- si la population augmente, il lui faut plus d'espace puisé dans les zones dites à risques sachant que les risques existants dans le Paillon sont nombreux, aggravant par la même occasion la vulnérabilité des habitats face aux phénomènes naturels. Dans les communes de ce bassin les taux de population ne cessent de s'accroître, les lotissements se construisent, certes en se référant au PPR et au zonage des risques naturels, mais certaines zones d'habitations sont susceptibles d'être en danger. De nos jours, les communes périurbaines doivent s'attendre à être très sollicitées, en raison du nouveau style de vie adopté par la société française. Ces vingt dernières années, le mouvement de périurbanisation s'est accentué. Les populations qui, il y a quelques années en arrière, fuyaient la campagne y reviennent. Ce phénomène de rurbanisation entraîne de nombreuses conséquences, en matière environnementale (www.aurg.org/ressource/publications/note/2003). Par ailleurs, l'intensification de l'urbanisation entraîne les décideurs à repousser les limites du risque. Cette prise de décision permet à la commune concernée de pouvoir augmenter son potentiel résidentiel, mais à quel prix et jusqu'où cela sera-t-il tolérable ? Les versants demeurent très actifs malgré les aménagements réalisés et la population s'installe de plus en plus dans des zones à risques. A terme, cette tendance pourrait poser des problèmes de cohabitation. En ce qui concerne l'évolution du réseau de communications entre les trois années (voir annexe)

révèlent un grand changement, beaucoup plus concentré durant la dernière période. Par contre, il faut établir un constat inquiétant lié aux constructions et aménagements des chaussées, trottoirs et parking : la déforestation atteint son maximum suite aux incendies, à la sécheresse et à la pollution. Les qualités d'infiltration dans le sol se sont dégradées en zone urbaine et l'imperméabilisation des sols favorise les écoulements de surface. La hausse de densité de population et en même temps d'habitations permet de conclure que les milieux forestiers ou agricoles se sont transformés en zones constructibles et dans certains cas, en faisant abstraction du contexte naturel actif, dont les risques restent omniprésents. La vallée du Paillon à caractère montagnard, a ses limites. Au fil des années et si cela continue, l'extension ne pourra s'effectuer que dans des secteurs à risques.

De mémoire d'Homme, il est vrai l'on prend de plus en plus en compte les risques, sans parvenir à s'affranchir des plus graves. Cette aggravation des risques est accentuée par le fait que l'espèce humaine a tendance soit à oublier les faits passés, soit à se plier aux avantages économiques, négligeant certains phénomènes. Autrefois, les vallées confrontées aux risques naturels n'étaient guère urbanisées ; d'une part la pression démographique n'était pas si forte et d'autre part nos prédécesseurs craignaient d'avantage les phénomènes naturels, les comparant à des manifestations divines (sauf pour les inondations qui étaient attendues afin de fertiliser les terres). Aujourd'hui, la population autochtone n'a plus la même vision des choses. L'incendie représente un fléau, qu'il faut essayer d'éviter. Le problème réside au niveau des touristes et surtout des campings sauvages. Les dégâts causés par les phénomènes naturels sont toujours craints par la population mais sont reconnus comme étant soit le résultat d'événements climatiques intenses, soit la conséquence des encombrements trop importants des vallées (croissance démographique, aménagements, ...). De nos jours, le problème est que les acteurs bien sensibilisés restent indifférents au fait qu'un grand nombre d'aménagements génèrent de sérieux problèmes en terme de gestion des zones sensibles. Les phénomènes naturels sont de plus en plus dangereux et difficiles à gérer à cause de l'intensification de la population ; les zones d'habitation ont tendance à se rapprocher de plus en plus des secteurs à risques, ce qui complique la réflexion en terme d'aménagement et de lutte.

1-1-2-Intégration insuffisante du risque dans l'urbanisation

Même si les risques ont toujours existé et marqué les esprits, aujourd'hui l'alerte est donnée. Le fait, que le monde industriel ne cesse de se développer et que les taux d'occupation ne cessent de croître, entraîne une avancée constante de la société dans le milieu naturel. Il est vrai que beaucoup d'actions sont mises en place pour lutter contre l'irréparable, mais il semble difficile de faire marche arrière. L'Homme s'est approprié trop d'espace. Pour illustrer ce phénomène, en France, on dénombre une commune sur deux, affectée par un ou plusieurs risques naturels, une commune sur trois, touchée par les inondations et une commune sur six connaît des phénomènes de mouvements de terrain (glissements, éboulements rocheux, effondrements,...). Avec le réchauffement climatique qui implique la sécheresse, aucune commune n'est à l'abri des incendies. De plus en plus, les risques et catastrophes sont aggravés par les concentrations urbaines, l'inconscience des risques de la population, les activités concentrées dans des zones sensibles, mais également une prise en compte insuffisante de ces risques dans les schémas d'urbanisme. La population semble avoir perdu la notion du risque. Bien souvent, suite à des aménagements de sites à risques, les gens sont rassurés et pensent que le danger est éradiqué. Seulement les travaux d'aménagement ne sont que des palliatifs face à l'amplitude des phénomènes qui évoluent sans cesse. Selon le PPR (2000), dans les zones situées à moins de 200 m de terrains, forêts, landes, maquis, garrigues, plantations ou reboisements, le débroussaillage doit être effectué :

- 1- aux abords des constructions et dépendances sur une profondeur de 50 m, et de part et d'autre des chemins d'accès aux bâtiments, sur une largeur de 10 m ;
- 2- sur la totalité des terrains bâtis et non bâtis situés en zone urbaine ;
- 3- dans des lotissements et les terrains de camping.

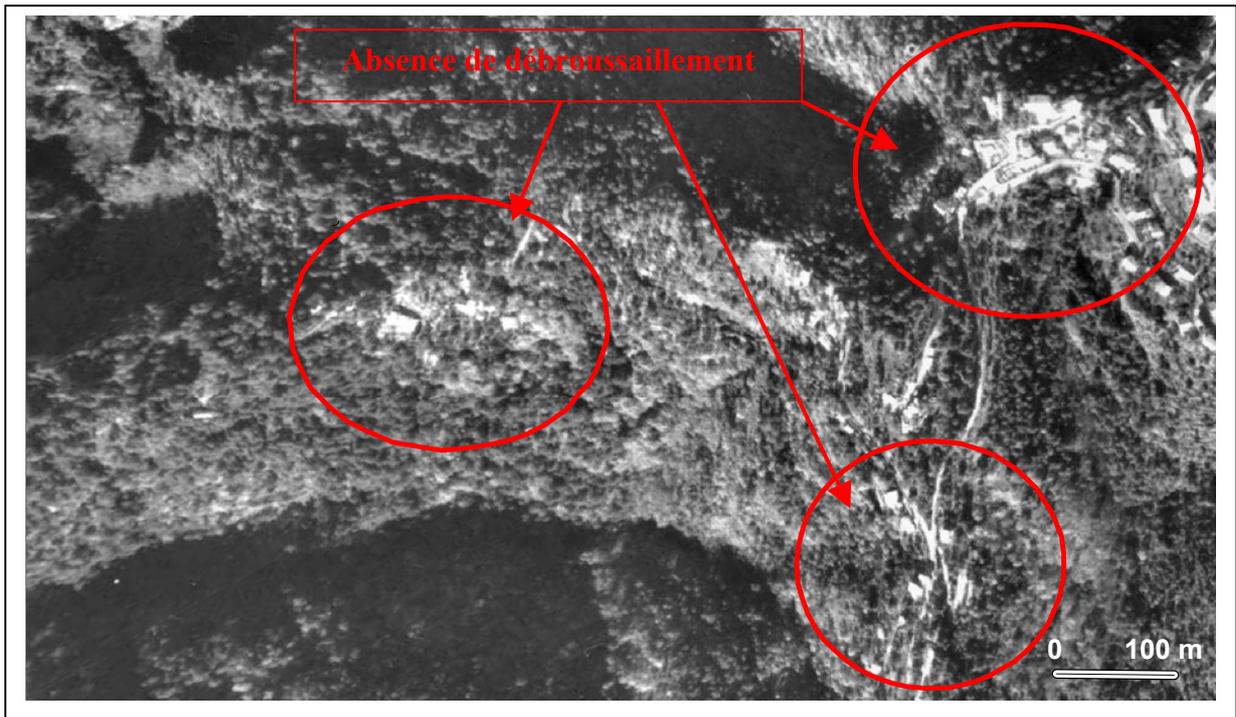


Fig. 90 : Désintéressement des habitants, absence de débroussaillage autour des maisons et des routes, dans le massif forestier du Paillon, mosaïque de 1977.

N. HESSAS, 2005

Le débroussaillage doit être réalisé de façon continue par le propriétaire ou l'occupant du bâtiment, de la voie ou du terrain. Les constructions isolées et légères sont à proscrire, y compris dans les zones d'aléa faible, du fait de leur vulnérabilité particulière. La création d'une séparation nette entre forêt (zone combustible) et urbanisation (zone d'enjeux) sera recherchée. Cette séparation pourra se traduire par la mise en place de bandes de sécurité ; la question de la responsabilité de la création et de l'entretien de ces ouvrages est à examiner avec une attention particulière. Le PPR peut étendre les espaces à débroussailler, créer des zones dispensées de l'autorisation de défrichage, prévoir une bande de terrain inconstructible dans les opérations nouvelles d'aménagement (GUIDE METHODOLOGIQUE PLANS DE PREVENTION DES RISQUES D'INCENDIE DE FORETS, 2002). Alors que l'évolution du phénomène est largement décrite par la communauté scientifique, les processus qui génèrent l'éclosion sont encore très peu analysés. Ce manque de savoir explique en partie les croyances populaires qui mystifient l'action du pyromane. Les éclosions des incendies sont encore aujourd'hui exclusivement décrites selon leurs causes. Chaque incendie recensé par les bases de données est mis en relation avec un objet source considéré comme son origine. La connaissance exacte de la cause, est très rare, et dans l'immense majorité des cas ce n'est qu'une supposition. Cette approche du phénomène

tend ainsi vers l'infiniment complexe, voire vers l'impossibilité matérielle de connaître la source exacte d'un feu.

1-1-2-1-Distance de propagation du feu en surface plane

En effet, si on considère que la propagation est sans pente, ni vent, et que la composition et la structure de végétation est la même, un incendie se fait sous la forme d'un cercle. Le centre de ce cercle représente le point d'éclosion du feu et son rayon la distance parcourue par le feu. Sachant que la surface d'un cercle est égale au produit de Π par le rayon au carré.

$$S = \Pi R^2 \quad \Longrightarrow \quad R = \sqrt{S / \Pi}$$

On peut estimer qu'un feu ayant touché une superficie moyenne sur trente année soit 18,77 ha dans le bassin versant du Paillon, aura parcouru un rayon de

$$R = \sqrt{18,77 / 3,14} \quad \Longrightarrow \quad R = 240,78 \text{ m}$$

Ainsi, nous pourrions déterminer la distance approximative nécessaire pour le débroussaillage ou le défrichage. Dans la Drome, S. NOUAR, en 2001, a estimé le rayon à 350 m. Il correspond d'une part, à un feu de référence d'une quarantaine d'hectares, ordre de grandeur des plus grands feux observés dans ce département. D'autre part, dans les Barronies et le Diois, ces 350 m se sont révélés être un seuil d'intervention pour les secours, lorsqu'on compare leurs délais d'intervention et les moyens dont ils disposent avec la vitesse de propagation des feux et la puissance dégagée par le front flammes. Pour le bassin versant du Paillon, ce rayon est de 240,78 m. Cette valeur montre que le département est dans une situation très critique car à la moindre éclosion, la propagation du feu se fera rapidement, sur des rayons élevés. La zone d'influence retenue autour des lieux d'éclosions est donc de 240,78 m et correspond à la distance fixée ultérieurement pour la probabilité d'incendies à proximité des maisons, des routes et des milieux cultivés. Ainsi :

- les zones à moins de 240 m d'un réseau seront affectées à la zone préférentielle de départ de feu « réseaux » ;

- les zones à moins de 240 m d'une construction seront affectées à la zone préférentielle de départ de feu « habitat » ;
- les zones à moins de 240 m d'une zone agricole seront affectées à la zone préférentielle de départ de feu « agricole » ;
- les autres zones seront affectées à la zone préférentielle de départ de feu « plein massif ».

Ces zones d'influence ont été cartographiées grâce à la commande « buffer » du SIG, qui permet de créer des zones tampon à une distance donnée, de part et d'autre des objets géographiques.

La proportion de départs de feux, susceptibles d'éclorre à proximité de chacune de ces poudrières, a été déterminée à partir des statistiques et de l'expertise des membres du comité de pilotage (DDAF, DDE, ONF, SDIS, et Conseil général), réunis pour la mise à jour du Schéma Départemental de Protection de la Forêt Contre les Incendies et la mise en place de l'Atlas des Risques des Feux de Forêts.

Ces pourcentages ont été fixés à :

Situations	Coefficients
Bords de routes (moins de 50 m)	60 %
Bords de zone agricole (moins de 50 m)	20 %
Bords de constructions (moins de 50 m)	10 %
Plein massif	10 %

1-2-Parcellaire : représentation cartographique de la variable « végétation », milieux agricoles et milieux naturels

1-2-1-Structure spatiale « milieu agricole »

Pour la représentation cartographique de cette variable, le parcellaire agricole a été déterminé selon trois caractéristiques :

- 1- le trame de la parcelle —————> Cultures / prairies ou vignes ou vergers
- 2- la couleur du sol —————> Cultures ou prairies
- 3- la forme de la parcelle —————> Cultures ou prairies

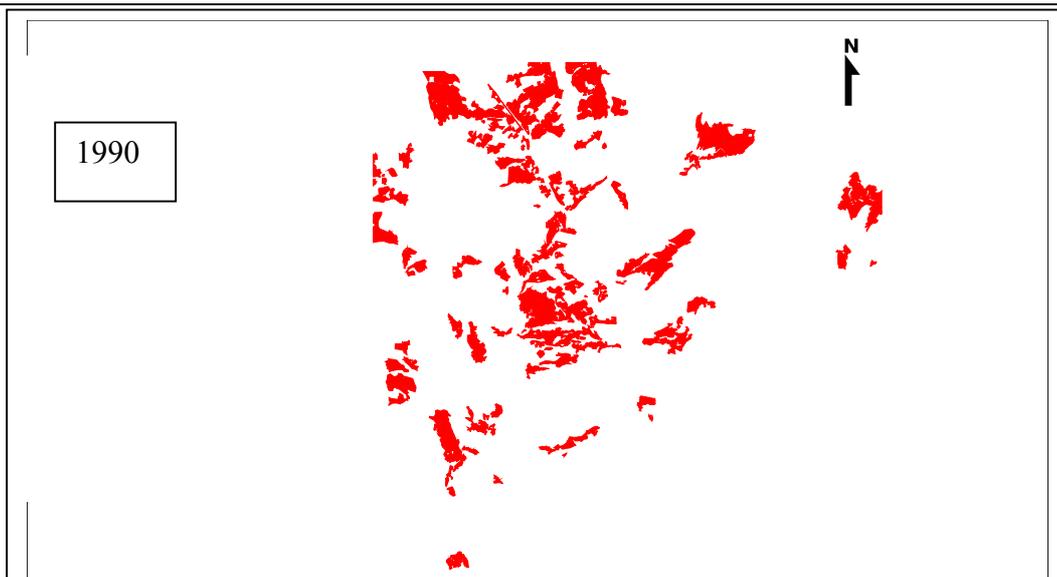
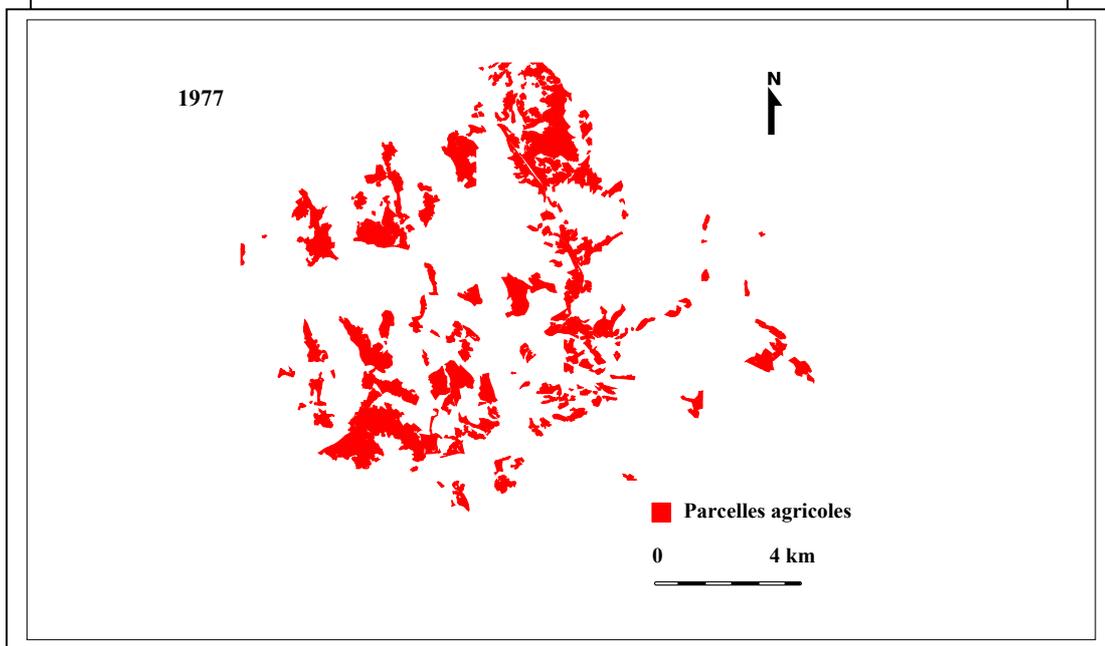
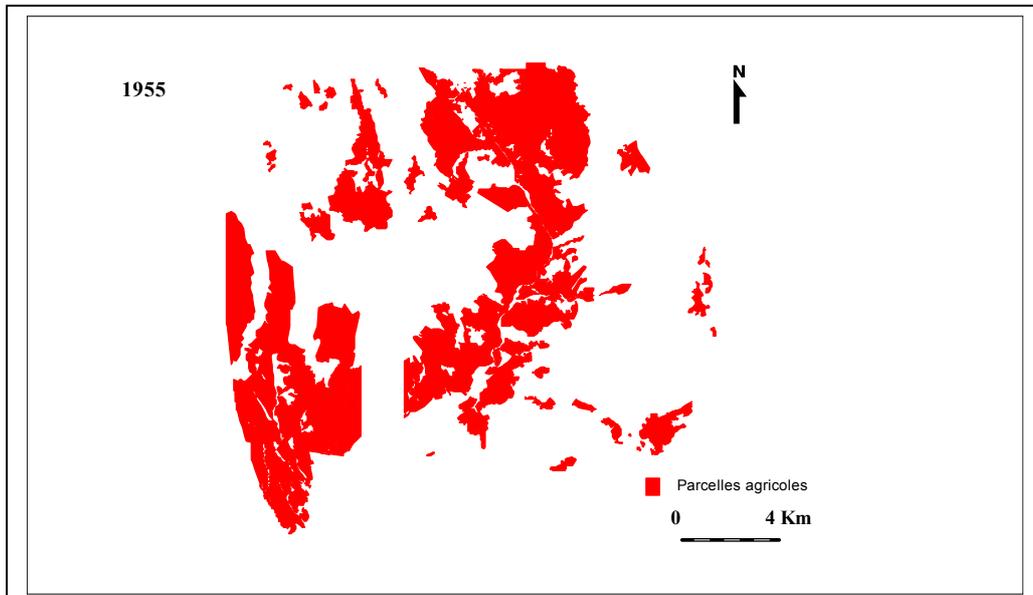


Fig. 91 : Représentation cartographique des parcelles agricoles dans la vallée du Pailion de 1955, 1977 et 1990.

N. HESSAS. 2005

Tableau 28 : Evolution des milieux agricoles selon les trois séries de photographies aériennes

Milieux agricoles	1955	1977	1990
Surface totale (km ²)	123,34	60,57	58,75

N. HESSAS, 2005



Fig. 92 : histogramme de la répartition des milieux agricoles pour les trois années étudiées

N. HESSAS, 2005

Au vu de la représentation cartographique, il y'a une perte considérable de parcelles agricoles surtout pour 1977. En 1955, la surface occupée par l'activité agricole représentait 123,34 km². En 1990, on note une diminution de l'activité agricole, déjà entrevue dans les années soixante dix : la surface étant de 60,57 km². La plupart des parcelles existant en 1955 ont été remplacées par des zones d'urbanisation ou abandonnées en friche. Toute la partie située au nord du bassin versant était cultivée en 1955, alors qu'en 1990 tout a été investi par l'homme. Les prairies et les cultures représentent très peu d'intérêt dans une telle vallée où le développement urbain prime sur l'élevage et l'agriculture. Au cours des dernières décennies, la déprise agricole a libéré des terres anciennement cultivées ou pâturées. Dans les années 80, la déprise agricole a porté sur le devant de la scène un phénomène qui est pourtant beaucoup plus ancien. Plusieurs grandes générations de boisements spontanés, correspondent aux principaux événements ayant affecté les territoires ruraux et forestiers.

1-2-1-1-L'agriculture dans l'espace périurbain

Jusqu'en 1980, le contexte général d'urbanisation incitait plus au développement urbain, qu'au développement agricole. C'est seulement depuis la Loi d'Orientation Agricole

de juillet 1980, que l'on porte plus d'intérêts aux politiques agricoles périurbaines en vue d'améliorer le statut de ces zones (PHILIPPE, 2003). En observant les figures 91 et 92, nous constatons une diminution accrue du nombre de parcelles dans la vallée, entre 1955 et 1977. Ce phénomène de perte de zones agricoles, vient d'une part de l'accroissement de la population et de la densification de l'espace périurbain, et d'autre part du fait que l'agriculture n'a plus vraiment sa place dans une telle vallée. D'après le rapport de présentation du PPR « la population active agricole fléchit » sévèrement, ce qui peut s'expliquer par l'inflation foncière. Par ailleurs, si l'on compare la répartition du milieu urbanisé à celle du parcellaire, il apparaît clairement que les zones agricoles de 1955 ont été remplacées en 1977 et 1990 par des zones urbanisées.

Voici donc un exemple de conséquences directes du phénomène de périurbanisation, dans le bassin versant du Paillon. Le principe est de gagner du terrain sur les zones agricoles, pour pouvoir agrandir son potentiel résidentiel et de ce fait pouvoir s'enrichir économiquement. En bref, la vallée est de plus en plus urbanisée, aux dépens des zones agricoles et ce par une population à la recherche d'espaces verts et agréables à vivre, qui se soucie guère des risques environnants. Par ailleurs en plus des risques liés au milieu naturel, on peut ajouter les risques anthropiques. Selon DAVID et LILLE (2005) dans la plaine agricole, les transformations du couvert végétal résultent de la mise en culture d'anciennes zones de pacages et de fourrés arbustifs ; elles sont également imputables à l'extension de l'habitat. Dans les collines littorales, ces dégradations sont le résultat du feu et d'un accroissement des zones cultivées dans quelques fonds de vallée. Bien que de nombreuses zones, dégradées par l'élevage caprin, il y a quelques décennies, soient actuellement couvertes de fourrés arbustifs de mimosas et d'acacia, de superbes reliques de la forêt sclérophylle subsistent dans les vallées, conférant à ces collines du bord de mer un grand intérêt du point de vue de la biodiversité. Les contreforts de la chaîne centrale, forment l'ensemble paysager qui a le plus souffert des dégradations de plusieurs années. Celles-ci sont essentiellement l'oeuvre du feu. La difficulté d'accès d'une région, sa faible implication dans l'économie locale et la faible fréquentation humaine qui en résulte ne réduisent donc nullement la probabilité d'apparition des incendies ; au contraire, ceux-ci sont associés à des activités requérant l'isolement, notamment la chasse et la promenade. Alors que pour LEOUFFRE et LECLERC (1995), l'évolution du contexte agricole depuis la seconde guerre jusqu'à nos jours, s'est accompagnée d'une forte dynamique paysagère, que l'on peut traduire de façon schématique par une concentration des cultures dans les plaines ou les zones les plus favorables, et un

développement des landes et des bois dans les zones qui le sont moins. Cette déprise se traduit par un embroussaillage important et un développement des surfaces boisées. Ainsi, les accrues naturels des bois, s'ajoutent aux reboisements parfois plus anciens réalisés par l'Office National des Forêts sur des terres libérées par l'agriculture. Hormis ces reboisements, les bois sont actuellement peu exploités, et servent essentiellement de bois de chauffage ; si leur valeur de production est faible, leur rôle de protection des sols et leur valeur paysagère sont importants. Ce développement des ligneux est de nature à augmenter le risque d'incendie.

La déprise rurale s'est accentuée par la mise en place de la Politique Agricole Commune dans les années 1960, entraînant l'abandon des petites exploitations. Ceci a deux conséquences :

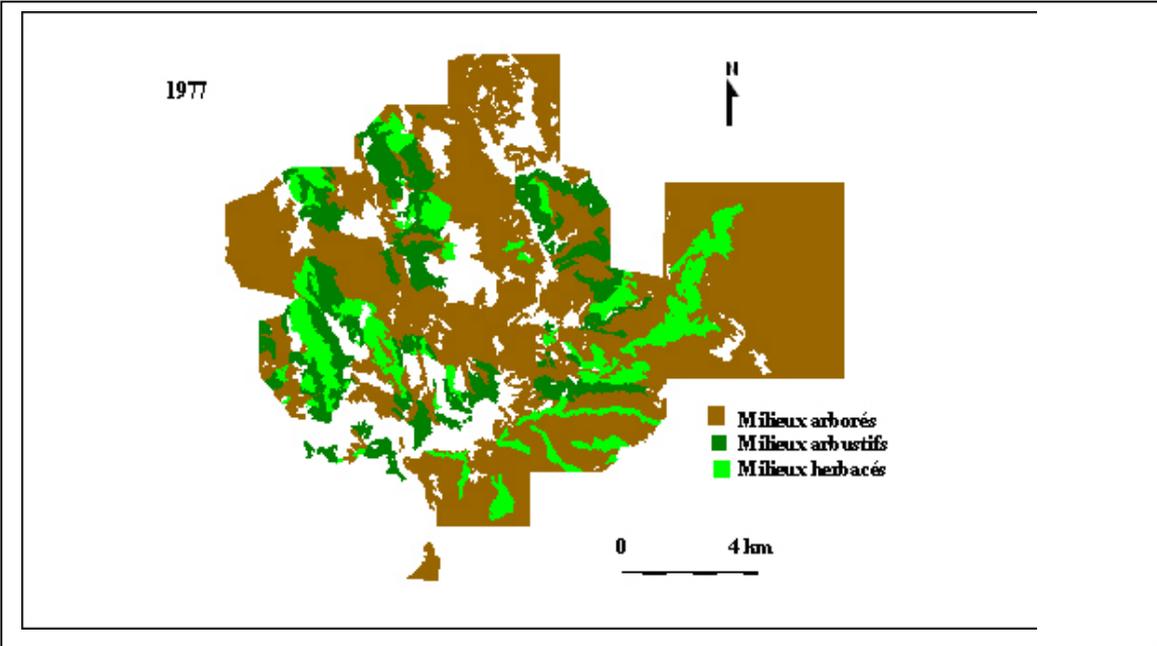
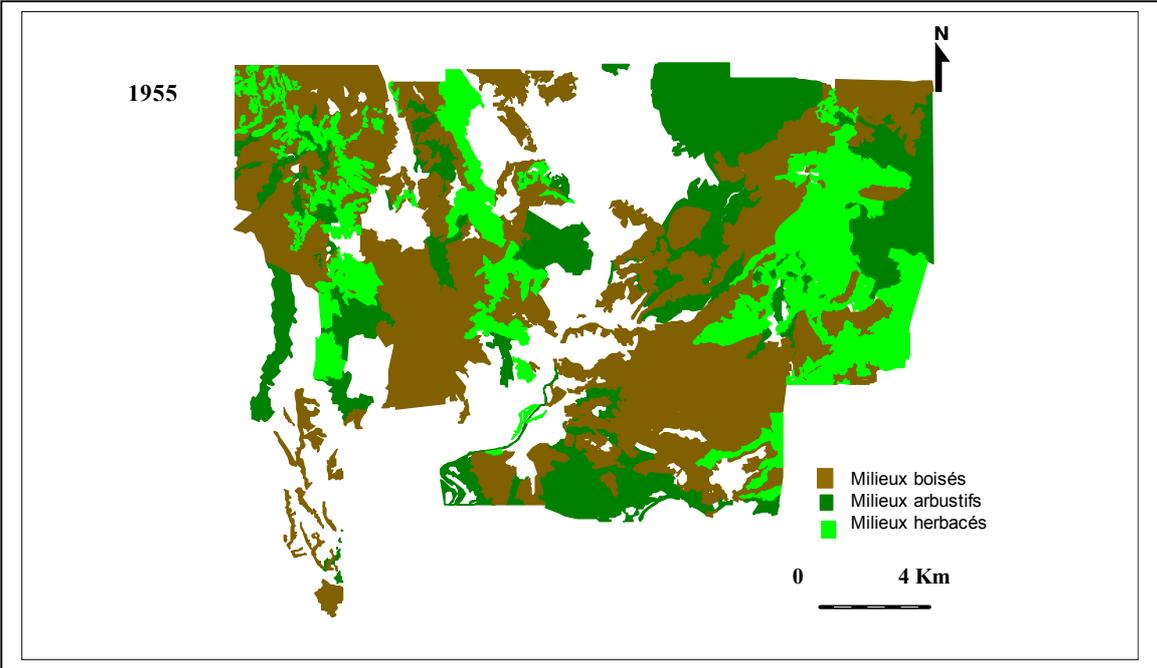
- les espaces naturels et agricoles sont reconquis depuis moins d'une centaine d'années par des formations végétales très sensibles au feu. Il s'agit notamment de friches, de landes, de garrigues et maquis. Chaque année, les surfaces forestières augmentent en moyenne de 30 000 ha ;
- Le cloisonnement des espaces arborés se réduit. L'abandon des terres agricoles a entraîné la coalescence des unités boisées autrefois discontinues.

L'agriculture et la forêt qui couvrent les 4/5 de la région donnent une production faiblement rentabilisées pour l'économie régionale. Elles représentent un potentiel important en termes de qualité de vie et de paysages, déterminant dans l'attractivité économique et touristique de la région.

1-2-2-Couvert végétal : de la strate herbacée à la strate arborée

Les fonctions traditionnelles de production de bois ont largement régressé et les usages liés à la forêt tiennent aujourd'hui davantage d'une utilisation récréative de l'espace naturel. La forêt est le théâtre d'une forte demande sociale. Les activités de loisirs se diversifient en chasse, cueillette, promenade,.... Une autre tendance lourde est l'abandon des terres agricoles. L'évolution du taux de boisement en France varie de - 1,2 % pour le département de la Meurthe-et-Moselle à + 7,9 % pour les Alpes-Maritimes. La progression actuelle de la forêt se fait principalement par boisement spontané dans des régions touchées par la déprise agricole.

A l'inverse la forêt diminue dans les zones de grandes cultures. Les boisements se concentrent sur le pourtour méditerranéen et dans le Massif Central et les montagnes en général.



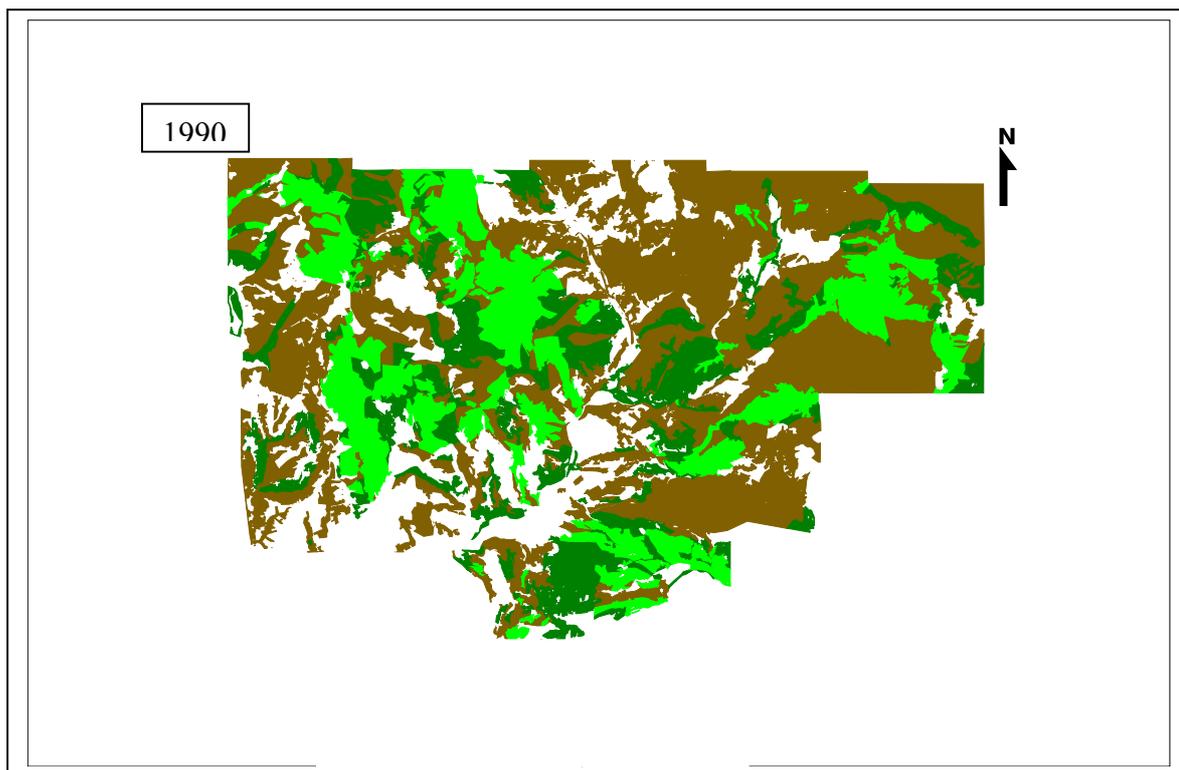


Fig. 93 : Représentation cartographique de la végétation dans le bassin versant du Paillon de 1955, 1977 et 1990.

N. HESSAS, 2005

Tableau 29 : Répartition des surfaces totales digitalisées, des différentes strates de végétations, observées dans le bassin versant du Paillon

	Surfaces totales		
	1955	1977	1990
Milieus arbustifs	96,75	39,43	75,42
Milieus Arborés	171,03	252,88	196,12
Milieus herbacés	64,43	50,48	69,27

N. HESSAS, 2005

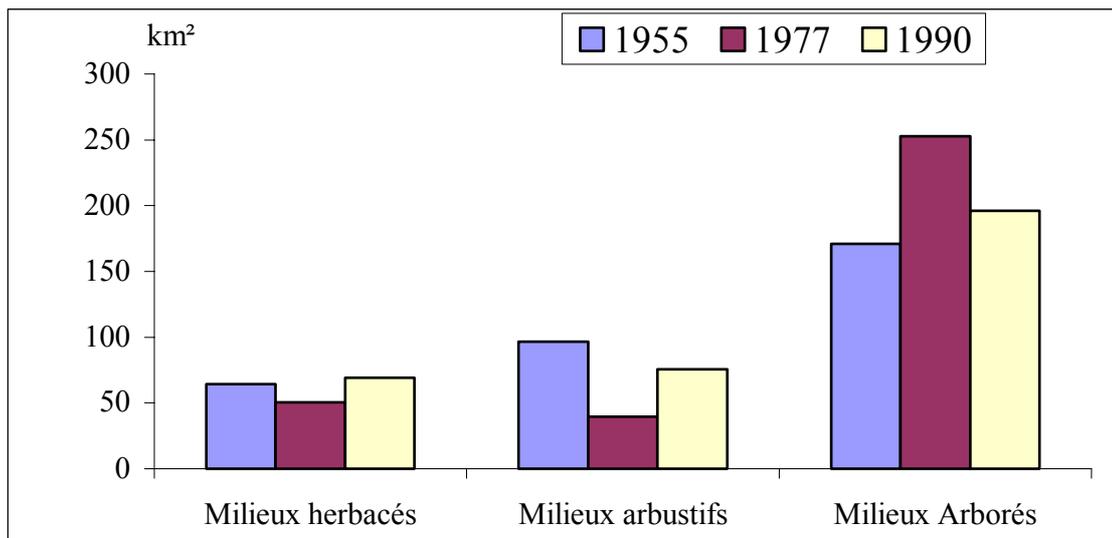


Fig. 94 : Répartition, des calculs de surfaces des différentes strates de végétations, faites grâce à Map-info sur les mosaïques du bassin versant du Paillon.

N. HESSAS, 2005

Avec une surface de 267,78 km² en 1955, de 292,31 km² en 1977 et 271,54 km² en 1990, la végétation arbustive et arborée n'a pas beaucoup évolué en trente cinq ans. Seules les haies, en 1955, sont plus nombreuses dans le fond de la vallée. Elles sont presque absentes en 1977 et en 1990. Les haies ont une fonction très particulière : elles permettent, entre autre, de protéger les champs cultivés des agressions climatiques ; c'est ce que l'on nomme également des bocages, par opposition aux openfields, qui sont des parcelles cultivées qui ne possèdent aucune barrière, ni clôture. Du fait que les parcelles, à cet endroit précis, ont été remplacées par des zones urbanisées, les haies n'étaient plus d'aucune utilité. Le sud du bassin est colonisé par des habitations. La végétation est presque inexistante. En allant vers le nord et en hauteur on observe des maquis et des surfaces forestières assez denses. On remarque aussi des constructions de maisons qui poussent comme des champignons. La végétation arbustive représente un atout non négligeable, dans une vallée telle que celle du Paillon : elle est un frein à l'évolution des processus d'érosion. Notons que les haies sont comprises dans la surface de la végétation arbustive.



Zones incendiées en 1954 extraites de la mosaïque 1955

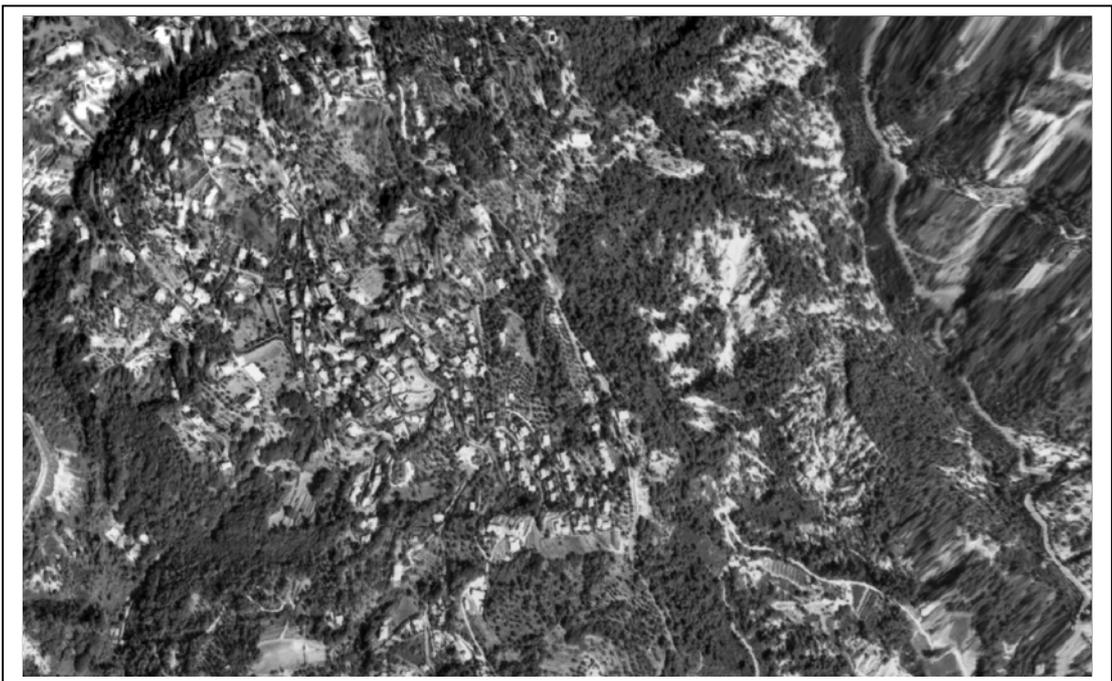


Fig. 95 : Implantation d'un village et reconstitution de la végétation brûlée évoluant vers un stade climacique (mosaïque 1990).

N. HESSAS, 2005

La comparaison des cartes établies, respectivement acquises en 1955, 1977 et 1990, nous a permis d'estimer les dégradations opérées sur le couvert végétal. L'activité chlorophyllienne a fortement diminué en trente cinq ans, signe d'une moindre densité du couvert arboré ou arbustif ou de sa disparition au profit d'une couverture herbacée sèche.

Paradoxalement, la dégradation peut également se manifester par une nette augmentation de l'activité chlorophyllienne, lorsque le couvert arboré ou arbustif, détruit par le feu est remplacé par un tapis dense "d'herbe tendre". Lorsque les terres cessent d'être cultivées ou que le pâturage diminue, les prairies souvent disséminées et localisées en bordure de forêt, se voient progressivement envahies par une végétation semi ligneuse. Ce stade est très sensible, s'enflamme facilement. La propagation du feu est plus rapide. Les premières espèces végétales à coloniser une terre en déprise sont des espèces herbacées à fort pouvoir de propagation, puis des espèces buissonnantes. Trois à quatre ans après l'abandon, les premiers arbres à s'installer sont souvent les pins, qu'ils soient pins sylvestres, maritimes ou d'Alep. Dans d'autres cas, on verra apparaître le bouleau, le saule ou le tremble qui sont des espèces de lumière. Après un feu, ce sont les espèces pyrophytiques qui s'installent. Elles se régénèrent facilement. En général, il faut attendre 10 à 15 ans pour que les ligneux dépassent 4 à 5 m de hauteur, mais la dynamique peut être plus rapide dans de meilleures conditions. Les essences d'ombre quant à elles, comme le chêne ou le hêtre, sont plus longues à s'implanter. Elles mettront souvent près de 30 à 40 ans pour apparaître.

1-2-3-Zones incendiées : évolution des milieux brûlés observés sur la mosaïque en 1955 par rapport à 1977 et 1990

Les orthophographies de 1955, 1977 et 1990 laissent apparaître d'imposantes zones incendiées. Après un feu, la zone brûlée peut sembler morte, mais plusieurs formes de vie résistent. Le fait que le parterre forestier reverdit très rapidement est une preuve certaine qu'un nouveau cycle forestier est en cours. Le feu crée de plusieurs façons des conditions idéales de croissance pour la nouvelle végétation (cf. figure 10, chapitre1). Le cycle des éléments nutritifs est accéléré par le processus de combustion, qui transforme lentement en cendres le matériel ligneux qui pourrit, ce qui fournit des minéraux aidant à la croissance des plantes. Le sol forestier noirci et dénudé, attire la chaleur encourageant la pousse de graines dormantes et une nouvelle végétation. Ceci stimule la production de fleurs et de fruits sur plusieurs plantes car les cendres deviennent un engrais naturel. Le feu est un élément tellement courant de l'écosystème forestier naturel que plusieurs espèces possèdent une adaptation spéciale leur permettant de se régénérer après son passage. Le feu peut entraîner le relâchement de graines de cônes tardifs dans des essences comme le pin gris, qui n'a pas besoin d'arbres survivants pour se régénérer après ignition. La chaleur intense force les cônes

à s'ouvrir et les graines tombent dans le sol enrichi par les cendres. Comme expliqué ci-dessus le feu joue un rôle important lorsque le milieu se trouve en état d'étouffement. Par contre, il est néfaste et cause des dégâts dans d'autres cas, surtout en milieu méditerranéen où la sécheresse est de plus en plus présente et les feux fréquents. Les incendies recensés selon Prométhée dans le bassin versant du Paillon ne sont pas négligeables.

Tableau 30 : Evaluation des incendies de forêt dans le bassin versant du Paillon

	Nombre de feux	Surfaces détruites
Alpes maritimes (1973- 2003)	6 189	53 741.79
Bassin versant du paillon (1973- 2003)	1 004	10 577.78

Source : Prométhée

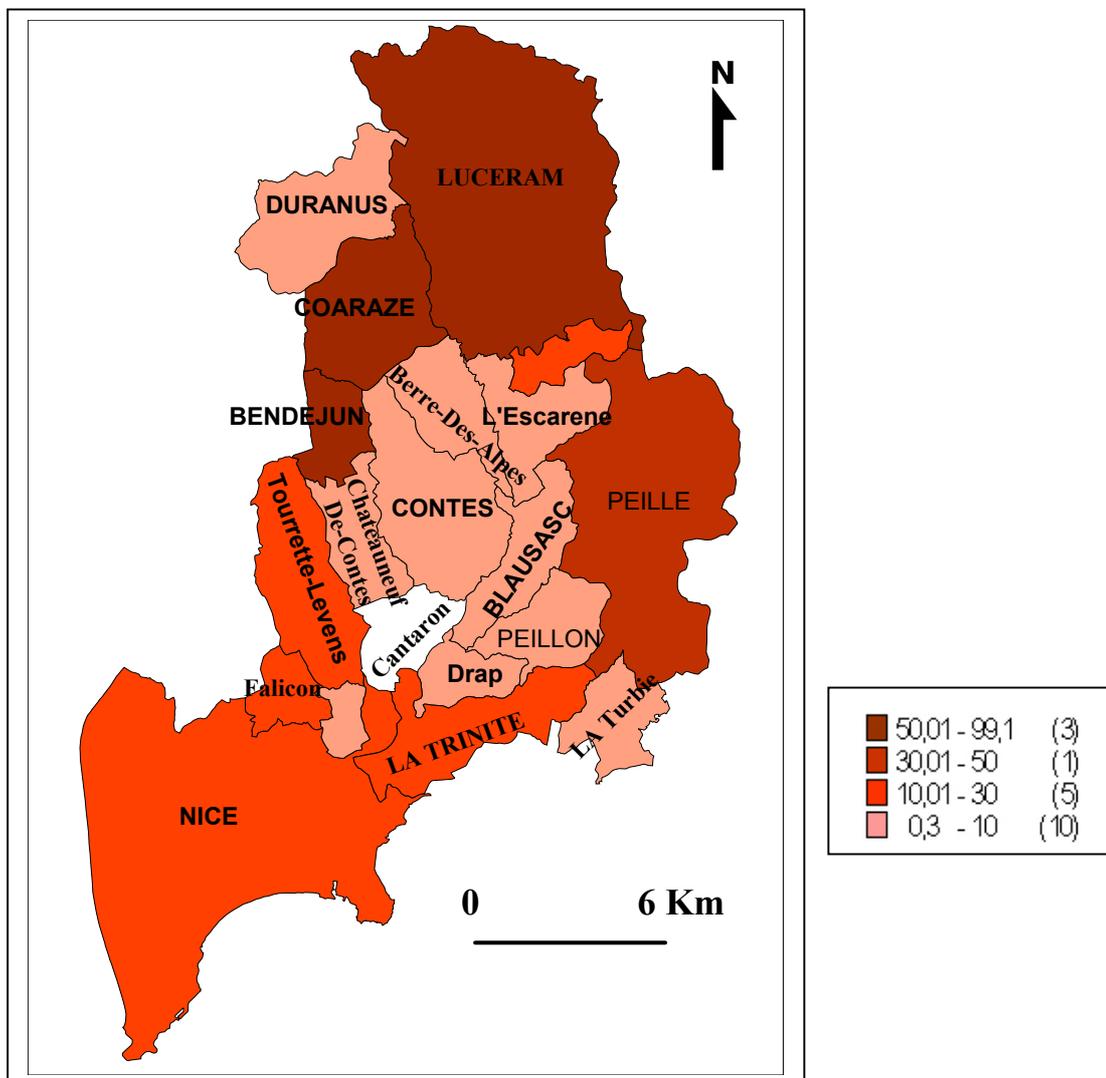


Fig. 96 : classification des surfaces brûlées des communes, intégrant le bassin versant du Paillon.

N. HESSAS, 2005

Il est à signaler que certaines strates telles que les strates herbacées, arbustives et arborées recensées peuvent être le produit d'une reconstitution de la végétation après feu. L'écart en années entre les différentes prises de vues (photographies aériennes), par exemple de 1955 à 1977, est de vingt ans. Le milieu peut se reconstituer jusqu'à atteindre le stade climacique. Ces cas ont été observés dans nos mosaïques sur les zones brûlées en 1954. De fait ce même site sur la mosaïque de 1977 et 1990 est couvert de végétation. Le milieu se reconstitue toujours. Les espèces pyrophytiques s'adaptent et reviennent après tout incendie. Mais, dans d'autres cas, le passage successif des incendies, la raideur des pentes et la maigreur des sols font que la végétation est généralement très dégradée : les arbres sont rares et de maigres buissons se cramponnent aux versants là où existaient autrefois les frondaisons de la forêt. Les zones dégradées sont les plus fragiles à toute nouvelle dégradation. La dégradation appelle donc la dégradation et conduit à terme à la destruction. D'autres facteurs peuvent intervenir telle que la diminution actuelle de la main d'œuvre disponible sur les exploitations, ce qui conduit les éleveurs à se dégager au maximum des travaux de gardiennage ou de gestion des troupeaux en été pour, se consacrer exclusivement aux récoltes (foins, céréales, plantes aromatiques). Le deuxième élément issu des enquêtes est lié à la restructuration des territoires d'exploitation. En l'absence de successeurs, des chefs d'exploitations partant à la retraite louent ou vendent leurs domaines à des exploitants qui trouvent là un moyen d'accroître leurs surfaces cultivées mais qui n'utilisent pas les parcours. Dans tous les cas, soit ces parcours sont totalement abandonnés et colonisés par les bois, soit moins utilisés que par le passé et le développement des arbustes n'est plus contenu. Le brûlage pastoral devient alors l'outil privilégié pour les réduire temporairement. Ces brûlages sont pratiqués dans des conditions plus difficiles que par le passé, du fait d'un environnement de plus en plus embroussaillé et boisé, la forme des bois s'étant fortement complexifiée sur l'ensemble du territoire. La probabilité de débordement des brûlages est également devenue plus forte, et l'essentiel des éleveurs qui mettent en œuvre régulièrement cette pratique, sont ceux pour lesquels les landes représentent plus de la moitié de la surface de leur exploitation. Toutefois, la nature des faciès végétaux environnant les parcelles à traiter n'est pas le seul facteur limitant leur mise en œuvre, leur coût est également important.

L'influence conjuguée du climat et de la végétation, crée les conditions propices à l'apparition et au développement de grands incendies. L'urbanisation diffuse, constitue un facteur aggravant et accroît les conséquences des sinistres. L'analyse spatiale des feux montre qu'ils ont frappé principalement les zones de contact entre milieu urbain et espaces naturels.

Les espaces fortement urbanisés connaissent peu de sinistres et ceux ci restent de faible ampleur. Nice, milieu fortement urbanisé, a elle seule compte 276 incendies et 552,01 hectares de surfaces brûlées. Inversement, Auvare où le nombre d'habitants passent de 14 en 1973 à 44 en 1999, a connu en trente ans 7 incendies avec 31 hectares de surfaces détruites. La surface moyenne parcourue par feu est relativement plus importante en terrain naturel qu'en zone urbaine ; ceci s'explique par l'importance de la biomasse végétale, la difficulté d'acheminement des secours et le degré de vigilance moins marqué qu'en zone urbaine. Ces chiffres démontrent l'importance d'une urbanisation groupée pour la maîtrise du risque d'incendie et les problèmes qui se posent à l'interface zone urbaine-espace naturels.

Un incendie qui se déclarerait de nos jours sur le territoire, rencontrerait plus de surfaces combustibles et plus de végétaux secs qu'un incendie qui se serait déclaré en 1955. Le développement des bois de feuillus au détriment des landes, a réduit la combustibilité du milieu. La progression des ligneux a également eu comme conséquence une homogénéisation du paysage ce qui augmente la probabilité de propagation du feu (FORMAN, 1987). De plus, du fait des modifications de proportions des différentes formations végétales et de leur réagencement spatial, qui a conduit notamment au regroupement d'unités d'un même type, les ruptures potentielles de la dynamique du feu sont moins importantes que par le passé. Or, excepté dans des conditions de propagation extrême (TURNER et ROMME, 1994), ces ruptures modulent la puissance d'un feu éventuel. Du point de vue strict de la structure du paysage, ces incendies observés actuellement dans cette vallée sont de plus grande envergure et de plus grande intensité que les feux de 1955. L'utilisation de ces différents critères, rendue possible grâce à des outils d'analyse spatiale, pourrait être valorisée lors d'une réflexion sur la gestion des espaces ruraux et aider à la conception de projets d'aménagements, en permettant une caractérisation des territoires et leur évolution.

La mise en évidence des directions principales de dégradations indique, que celles-ci suivent de manière privilégiée les lignes de crêtes et les versants adjacents. En revanche les vallées, où le couvert végétal arboré ou arbustif est plus dense, sont moins touchées. Dans ces zones, les incendies ne se propagent en général que sur les marges et des possibilités de régénération du couvert végétal existent si la fréquence des incendies est faible. Dans le cas contraire, la couverture arborée ne peut se reconstituer et laisse la place à un écosystème beaucoup plus simple dans sa structure comme dans son fonctionnement, composé de formations herbacées ou arbustives capables de se régénérer entre deux incendies et tolérant

un sol plus pauvre. Mis à nu par l'incendie, le sol forestier est en effet soumis rapidement au ruissellement, d'autant plus intense que les pluies sont violentes et fréquentes, que le relief est accentué et que les obstacles sur le sol (branches, pierres) sont rares. D'une manière générale, les capacités de régénération d'un couvert végétal après un incendie, dépendent de sept facteurs : la nature du couvert végétal, son degré de destruction par l'incendie, la pente du versant sur laquelle il se développe, la composition du sol, la fréquence des précipitations, la violence de celles-ci, la fréquence des dégradations. La vallée du Paillon fût le théâtre de nombreuses catastrophes et comme nous l'avons vu à travers nos mosaïques, elle a connu une nouvelle vague de dynamique anthropique. Le deuxième risque important dans le bassin versant du paillon après le feu de forêt est l'inondation. Selon les conclusions du Plan de Prévention des risques (PPR) réalisé par les services de la préfecture, l'aléa d'inondation se caractérise par une hauteur d'eau et une vitesse d'écoulement.



Photo 14 : Inondation, Paillon novembre 2000

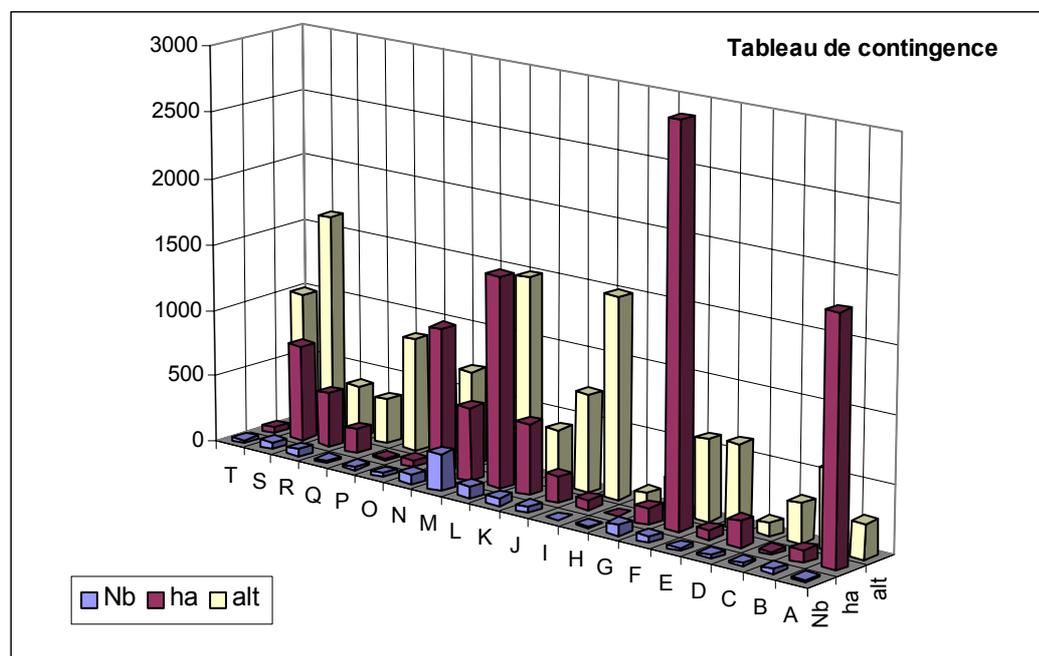
Source : http://www.nice.fr/mairie_nice_2244.html

Sur un total de 28 km, le lit du Paillon est canalisé sur 11 km. La largeur respective du fleuve endigué à l'aval est de 90 à 100 m. Seul le lit mineur du Paillon est classé en zone rouge inconstructible. L'Etat a édité le 19 février 1982 un plan d'exposition du risque inondation du Paillon. Celui-ci a été transformé en plan de prévention du risque inondation après 1995 et approuvé par arrêté préfectoral le 17 novembre 1999.

2-Analyse factorielle de correspondance (A.F.C) des incendies de forêts dans les différentes communes du Paillon

2-1-Analyse globale

Elle consiste à rechercher la meilleure représentation simultanée de deux ensembles, constituant les lignes et les colonnes d'un tableau de contingence. Le traitement numérique a porté sur l'analyse de l'échantillon consigné dans la matrice communes-feu (nombre de feux, surfaces brûlées et altitude) donnant une fréquence de 20 taxons fois 3 facteurs cités ci dessus (voir annexe).



A, B, C,...: Noms des communes,
Ha : surfaces brûlées sur 30 ans,

Nb. : Nombre de feux sur 30 ans,
Alt. : altitude

Fig. 97 : Représentation de la matrice de données, tableau de contingence, en histogrammes

N. HESSAS, 2005

Grâce au tableau de contingence, la statistique classique nous donne, par, le test de Khi^2 , le moyen de savoir s'il existe une liaison (ou correspondance) entre les caractères étudiés, mais ne permet guère de décrire cette liaison, ce qui est précisément l'objet de l'analyse factorielle de correspondances (A.F.C.). Les résultats montrent, que le seuil de signification obtenu à partir de Khi^2 , $\text{Alpha} = 0,005$ peut rejeter l'hypothèse nulle d'indépendance entre les lignes et les colonnes. Autrement dit, la dépendance entre les lignes et les colonnes est significative.

L'étude des 30 années de feux (1973 à 2003), qui se sont propagés dans le bassin versant du Paillon a porté sur la mise en évidence dans les différences communes sur les colonnes de la dite matrice, c'est-à-dire sur les facteurs du feu. En mémoire nous avons pris les résultats des abondances relatives. La figure 97 donne une représentation de la projection des stations dans le plan factoriel 1-2. Ce plan donne accès à 100 % de l'information, ce qui est très satisfaisant.

L'analyse permet, dans le plan des deux premiers axes factoriels, une représentation simultanée, souvent fort suggestive des ressemblances entre les colonnes ou les lignes du tableau et de la proximité entre lignes et colonnes. Ce premier plan met en évidence une nette disjonction spatiale des caractéristiques du feu dans les communes en trois ensembles. Cette disjonction est l'image des différences qui existent dans les données du feu en relation avec les milieux.

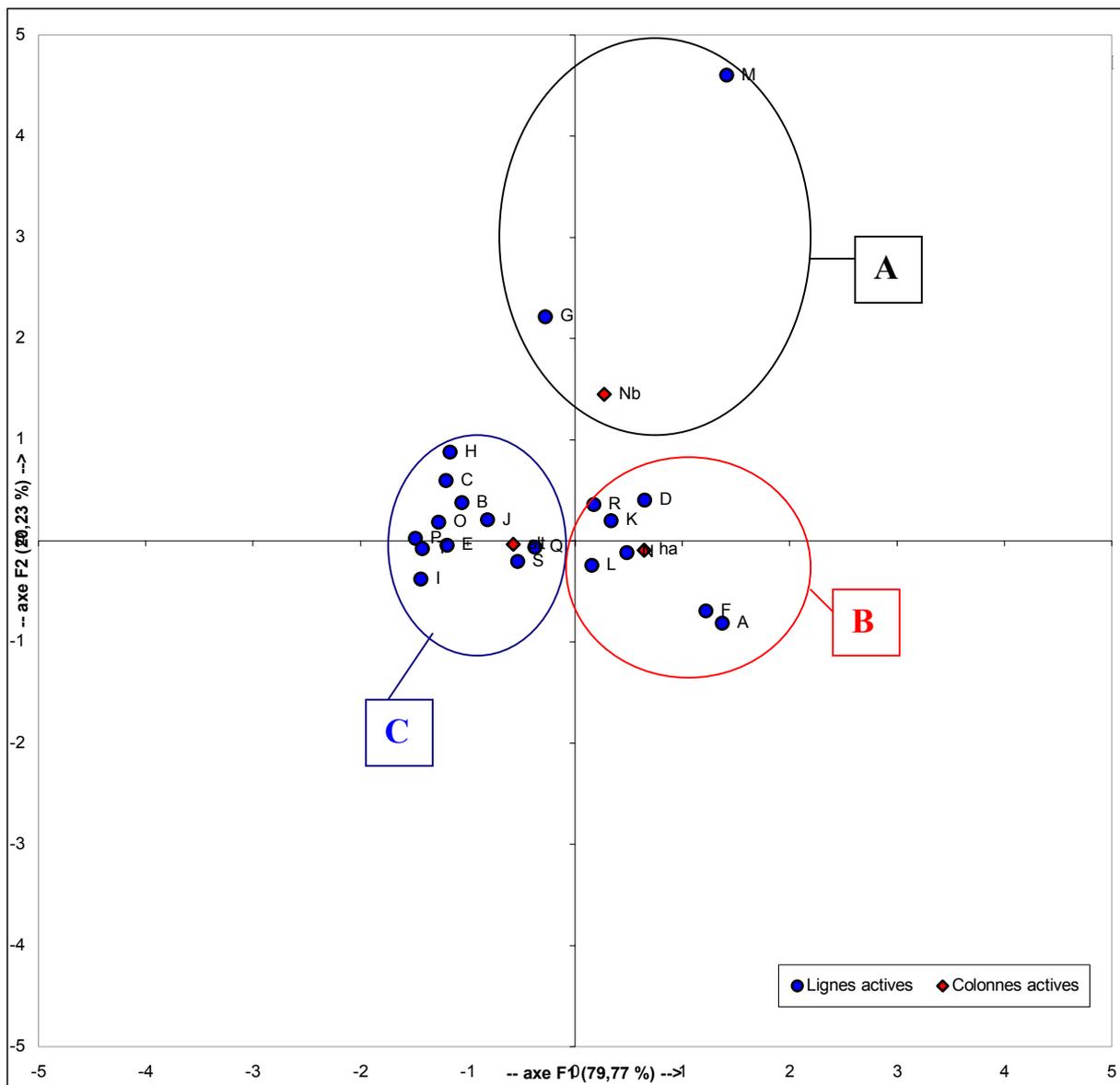


Fig. 98 : Analyse globale (axes 1-2), mise en évidence de la variation des relevés feux de forêts dans le bassin versant du Paillon

N. HESSAS, 2005

Les nuages de points traduisent les affinités et les corrélations entre milieux et les données. L'examen de ce premier plan fait apparaître une nette disjonction spatiale des communes en trois groupes. Cette discrimination reflète les différences des facteurs feux de forêts.

Le groupe A, constitué de deux communes (Nice et Contes) relativement dispersées, situé dans le quadrant positif de l'axe 2, correspond au nombre de feux.

Le groupe B appartient aux surfaces brûlées. Il montre un fort regroupement des communes qui le composent. Cet ensemble se regroupe de part et d'autre du côté positif de l'axe 1.

A l'opposé, l'ensemble C occupe le côté négatif. Il représente les zones montagneuses. Celui-ci apparaît avec un fort regroupement, pour certaines communes.

2-2-Interprétation des axes factoriels et discussion

Selon DERVIN (1988), les éléments qui ont les plus fortes contributions relatives à l'inertie, sont les plus explicatifs pour l'axe principal considéré.

2-2-1-Interprétation de l'axe factoriel 1

L'axe factoriel 1 comporte 79,77 % de l'inertie totale. Il est constitué de deux groupes. Cet axe est orienté principalement par des valeurs de contributions des communes ayant des surfaces brûlées élevées et situées dans les zones montagneuses.

Le groupe B regroupe des communes présentant de grandes surfaces forestières incendiées. Elles sont toutes des zones d'altitude assez élevée. Coaraze (F) à elle seule représente une contribution de 22,12 %, Bendejun (A) participe avec 16,41 % à la formation de cet axe. Les autres (cinq communes) ont des pourcentages faibles mais apportent toujours leurs contributions à l'axe et au groupe formé.

Les contributions par ordre d'importance, pour l'ensemble C, sont : Duranus (I) avec 13,43 %, La Turbie (T) avec 8,86 %, Saint André (P) avec 8,07 %,.... Ce groupe assemble le plus de communes par rapport aux deux autres. 11 communes contribuent pour 42,35% à la formation de F1. Ces communes assemblées en un groupe C, montrent que dans le bassin versant, plus l'altitude est élevée, plus la surface incendiée est grande.

Cet axe met en évidence les surfaces brûlées en altitude. Le côté négatif de l'axe représente surtout les zones montagneuses, contrairement à l'opposé où la surface brûlée n'est pas négligeable. Ces deux groupes sont reliés par la surface brûlée et l'altitude. Un autre

groupe ne prenant en compte que le nombre de feux est en dissemblance totale avec les deux précédents.

2-2-2-Interprétation de l'axe factoriel 2

L'axe 2 avec 29,23 % de l'inertie apporte des informations pour un groupe constitué de deux communes, qui est orienté principalement par des valeurs de contribution. Sa formation est essentiellement déterminée par le facteur « Nombre de feux ». Ces deux communes Nice et Contes contribuent pour 7,06 % à la formation de F2. Ce groupe désigne deux communes urbaines où le nombre de feux recensés, représente le record pour les trente années dans le Paillon et sur une vaste échelle pour le département « Alpes Maritimes ».

2-2-3-Apport des facteurs de contributions dans l'analyse factorielle de correspondance

Le traitement global des données, recensées par l'analyse factorielle de correspondances, permet d'obtenir une vision globale des relations existant entre le milieu et le feu. Il apparaît que dans tous les ensembles retenus, la disjonction des communes est due :

- aux reliefs qui jouent un rôle dans la propagation des incendies,
- à la différence du comportement du feu entre les milieux urbains et ruraux, où l'éclosion des incendies est faible dans les montagnes et élevée dans les zones urbaines.

Le long des deux axes du plan factoriel, s'inscrivent deux gradients définis lors de l'interprétation de F1 et F2.

Sur F1, gradient de structures paysagères, on trouve toutes les communes ayant des surfaces brûlées à une altitude élevée.

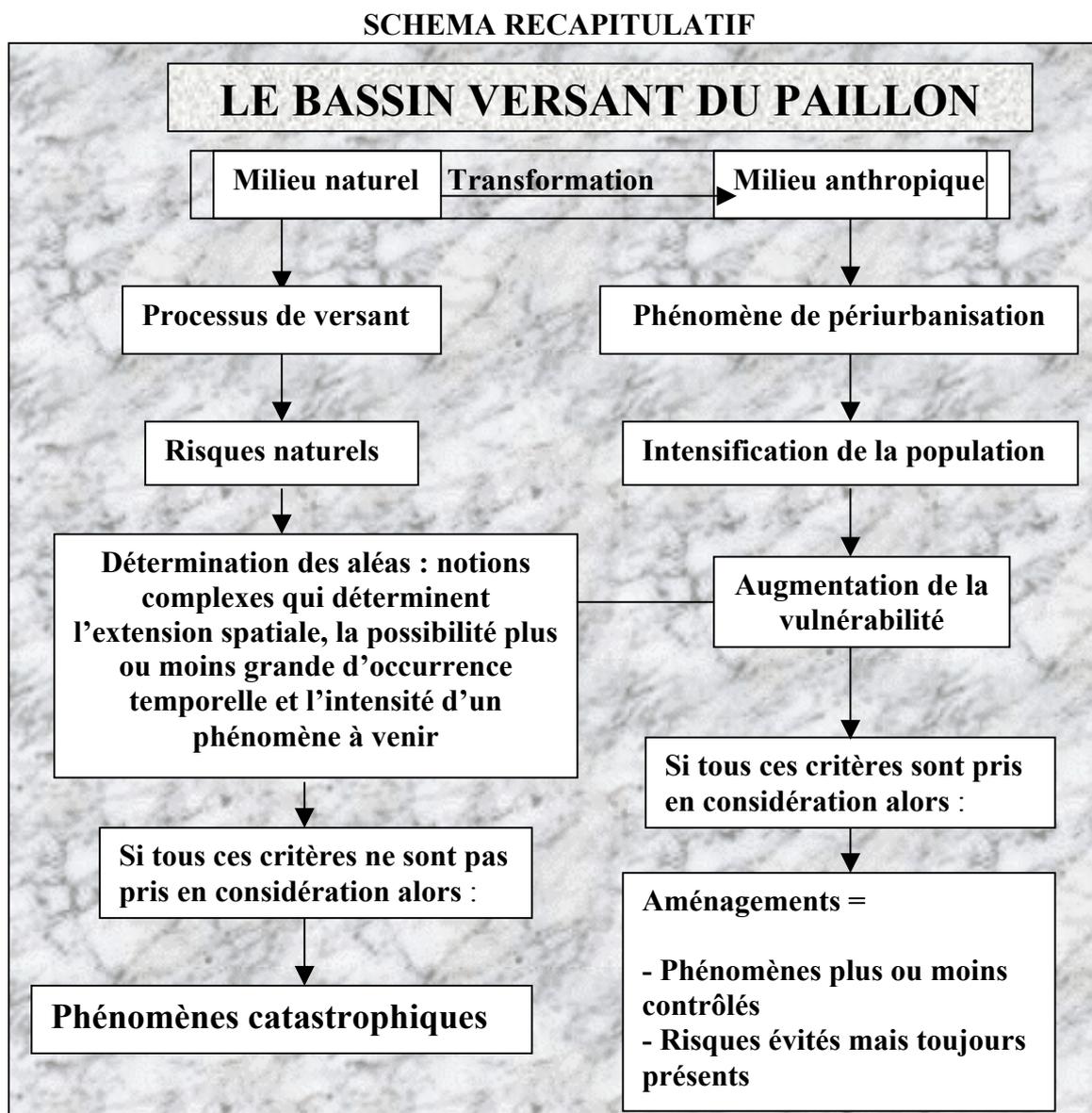
Sur F2, gradient du nombre de feux, on rassemble les communes urbaines.

Dans les milieux ruraux, la situation est toujours critique lors de toutes les interventions. Le succès des opérations n'est pas toujours facile et évident même avec tous les moyens disponibles (engins, hélicoptères, canadairs) surtout avec la difficulté d'accessibilité (le relief, les chemins mal aménagés, ...) aux points feux et aux points d'eau. Ces difficultés de détection et d'action rapide favorisent des feux de grande envergure. Il faut pouvoir

pratiquer une sylviculture préventive, faite de peuplements permettant de contrarier le déclenchement du feu, de freiner sa puissance et de limiter les dégâts causés par les arbres, mais ces pratiques sont très coûteuses. MONGOLFIER (de) et *al.* (2002) confirment en disant que les travaux sylvicoles en milieux méditerranéens se heurtent à la faible rentabilité des peuplements et dépendent fortement :

- Des moyens financiers que l'on peut investir,
- Du revenu et des produits que l'on peut tirer de la forêt.

3- Conclusion de l'étude de l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du Paillon, Comment éviter le pire ?



Une des caractéristiques fondamentales des écosystèmes est leur dynamisme. Dans le bassin versant du Paillon une série de photographies aériennes montrent que dans un espace dégradé après un feu, le sol nu se couvre peu à peu de végétation, de même qu'un champ abandonné est progressivement envahi par les herbes, puis par des arbustes et enfin des arbres. Ce phénomène de succession écologique qui colonise le milieu est généralement remplacé par de la flore et de la faune nouvelle. Pour ce qui est de la végétation, se sont des espèces pyrophytiques et thermophiles qui s'installent. La succession observée, dans le bassin versant du Paillon et dans tous les milieux dont la végétation est éliminée après une modification climatique, un incendie, une érosion, une inondation ou tout simplement une intervention de l'homme conduit souvent à la formation d'un disclimax différent du climax qui existait primitivement. Par contre, dans certains milieux, elle ne se termine pas par un climax final, ce sont toujours des successions destructrices ou de séries régressives soit par le retour du feu, soit par des facteurs biotiques et abiotiques (érosion, températures élevées, absence de précipitations, ou par la compétition entre les espèces). Ce sont souvent des terrains en pente qui sont les témoins de cette catastrophe. Dans la majorité des cas, l'homme est le responsable de l'apparition de ces séries régressives. La répétition des feux réguliers ruine aussi le couvert végétal spontané.

Après un feu de grande intensité, la réinstallation des êtres vivants dans ce milieu correspond à une succession primaire. L'évolution de la série sans aucune destruction dans le temps, représentée par une biocoenose stable en équilibre avec le milieu est qualifiée de climax. Mais dans un milieu méditerranéen, comme notre milieu d'étude, ce cas se présente très rarement sauf en cas de suivi c'est-à-dire de traitement sylvicole. La végétation est confrontée à un état de stress suite à de grandes températures et à la sécheresse qui empêchent la croissance et l'adaptation facile de tous types de végétation.

Au fil du temps, les vallées fortement exposées aux risques n'auront plus aucune possibilité d'expansion ; tel pourrait être le cas dans le bassin versant du Paillon qui est enclavé entre deux versants montagnards actifs. Des mesures seraient donc à envisager afin de ne pas être confronté au pire dans les années à venir. Le simple fait de réaliser des PPR pour les communes concernées, serait un grand pas vers le progrès en terme d'aménagement et de gestion du territoire. « L'environnement s'inscrit dans des politiques d'aménagements qui doivent conduire à une meilleure répartition de la population et des activités, une gestion appropriée des ressources sur un territoire donné. » (VEYRET, 2001). C'est dans cette

optique d'aménagement du territoire communal que sont réalisés les POS, PLU, PPR...grâce à ces initiatives de gestion permanente de son territoire, chaque commune aménage son espace dans un but économique (valeurs des biens) et social (qualité de vie). D'après PHILIPPE (2003), actuellement en France, une priorité est accordée à l'accélération de la réalisation des PPR, en quadruplant les crédits en quatre ans (passant d'un montant de 3,8 millions d'euros en 1997 à 15,2 millions d'euros en 2000). Entre 1997 et 2003, on est passé de 1 800 PPR en 1997, à 2 756 en 2001, à 5 000 en 2003. On pourrait donc penser que le processus de gestion des risques commence à se mettre en place peu à peu. Dans la vallée du Paillon, il reste énormément d'efforts à faire dans la prise en compte des risques naturels et de leurs conséquences sur les milieux urbanisés. Il faut savoir que les incendies de forêts sont très dangereux dans les conditions extrêmes. Il est certain que ce bassin versant a évolué en trente cinq ans, et, qui dit évolution, dit modification, changement et bien entendu adaptation. L'espace périurbain est un lieu de contact entre le monde urbain et rural, c'est également un lieu de spéculation. Comme on a pu le voir précédemment, ce sont des lieux qui se développent grâce à leur accessibilité, leur croissance démographique et leur développement économique. Ainsi, l'objectif souhaitable dans une telle vallée est de pouvoir contrôler l'aménagement de son espace urbain en relation avec son espace naturel. Cela représente un coût et des concessions à faire, mais il semblerait que les risques sont totalement délaissés.

À la vue des nouvelles zones construites et autorisées par les communes, cette prise de conscience ne semble pas être totalement acquise. Ce site demande donc un mode de gestion adapté à la fois aux processus de versant et à la progression de l'urbanisation sans oublier que le risque d'incendie est toujours présent.

C-Application du modèle Prométhéus à la simulation des feux de forêt, résultats et discussion

Après avoir effectué toutes les conversions et manipulations nécessaires pour démarrer la simulation (cf. chapitre V) sur le modèle Prométhéus, il a fallu en premier lieu jouer le rôle de pyromanes « déclencher le feu ». Le point d'éclosion est réalisée dans un premier temps à n'importe quel endroit afin d'avoir un aperçu sur le développement de la propagation. Il s'agit de polygones avec des variations de formes CHEVROU (1996) définis comme suit : le modèle feu de forêt est une représentation cartographique de la propagation du feu dans la

végétation c'est-à-dire dans un espace combustible et du développement de la courbe continue qui délimite la surface brûlée.

1-Eclosion des feux de forêt : de la mise à feu au déclenchement

Le lieu d'éclosion en réalité est particulier. Il rassemble des susceptibilités qui se combinent et qui, au-delà d'un seuil, amènent à l'incendie. Ces susceptibilités répondent à une pression sociale sur un environnement particulier. Lors de la simulation plusieurs points d'éclosion ont été choisis afin de vérifier la durée du déclenchement et le sens de la propagation. L'heure de la mise à feu et l'heure d'extinction sont prises en considération dans le modèle.

2-Comportement du feu : Facteurs intervenant dans la propagation du feu

Les incendies de forêts ont besoin d'une couche continue et sèche de « combustibles légers » à la surface du sol pour se propager. Les résultats obtenus sur les différentes propagations du feu dans le bassin versant du Paillon montrent que les courbes tracées par le modèle sont différentes et la vitesse de propagation varie (figure 99).

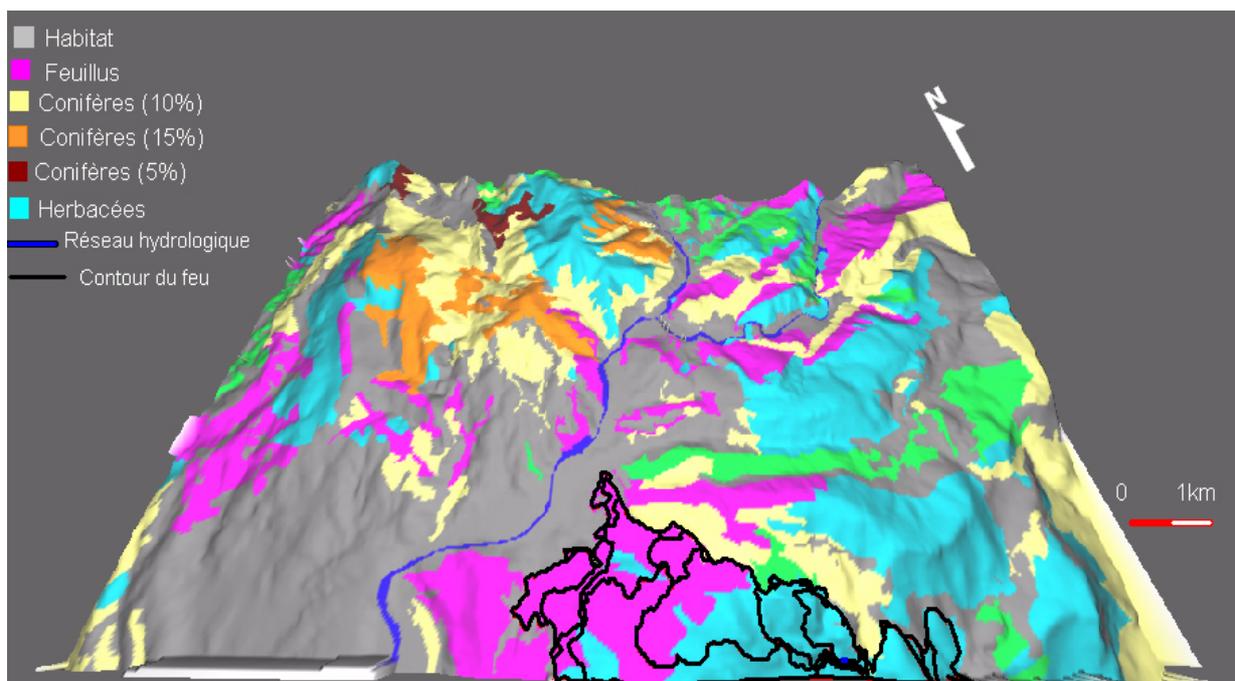


Fig. 99 : Simulation de la propagation du feu d'Eze du 24 juillet 1986.

N. HESSAS, 2005

Les caractéristiques climatiques et topographiques interviennent dans la propagation rapide du feu et dans le freinage. Leur variation sur le modèle le confirme. Ce qui m'amène à souligner que le facteur primordial dans le déclenchement de la propagation est l'humidité de la végétation.

2-1-Teneur en humidité des combustibles

La teneur en humidité des combustibles est très importante pour déterminer le comportement du feu. Une forte humidité ralentira l'incendie parce que la plus grande partie de l'énergie thermique sera utilisée à l'éliminer dans les combustibles. Les arbres vivants contiennent généralement beaucoup d'humidité tandis que les arbres morts en contiennent très peu selon le climat. Les conditions atmosphériques passées et présentes déterminent la teneur en humidité des combustibles. La grosseur et la disposition des combustibles sont également importantes : les gros combustibles ont besoin de plus d'énergie pour s'allumer et brûler que les combustibles légers. La propagation du feu en milieu méditerranéen est rapide. D'année en année, ce phénomène est constaté par les pompiers sur de très grandes surfaces. Une grande partie des forêts a été détruite par des incendies qu'on peut qualifier d'incendies « catastrophes », compte tenu des superficies brûlées, mais aussi de la rapidité de leur propagation. Connaissant le climat méditerranéen de plus en plus chaud, avec un été précoce et sur une longue période. La végétation se déshydrate et facilite le travail du feu. De grands feux de plus de 1 000 ha de surface brûlée s'observent. Le déplacement prompt de poches de gaz inflammables qui, dans des conditions particulières, sont de nature à provoquer de véritables « flash », explique, en partie, les pertes en vies humaines et la destruction d'habitations. Selon DROUET et *al.* (2002) en forêt méditerranéenne, on n'observe pas de feu pour une teneur en eau de la litière au sol supérieure à 10 % (masse d'eau / masse de la matière sèche) alors qu'au Canada cette valeur est de 30 % avec le même raisonnement mais pour des litières plus épaisses et un mécanisme de propagation différent. Dans de rares cas, il semble que dans les Alpes-Maritimes des feux aient été observés avec des teneurs en eau des litières supérieures à 10 %, avec des litières plus épaisses que celles habituellement rencontrées.

2-3-Effet du vent : facteur favorisant l'accélération de la propagation du feu

Après l'humidité, le vent assure parfaitement son travail. Les mouvements de gaz et d'air ambiant se produisent forcément, même en absence d'un vent ambiant. Selon Météo France, la majeure partie des étés dans le sud de la France est marquée par un régime de vents faibles, avec des brises thermiques sur le littoral et sur le relief, parfois renforcées dans l'intérieur, du fait de fortes températures. Cette situation à vents faibles et à très forte température qui perdure pendant l'été, s'accompagne de masses d'air excessivement sèches, ce qui induit un danger de propagation. Il participe évidemment à l'apport d'air frais, donc d'oxygène. L'augmentation de la vitesse du vent avec une faible humidité (dans l'air et dans le végétal) et une forte température accélèrent la propagation du feu. Le régime de vents influe beaucoup sur le niveau de danger d'incendies de forêt. Selon Drouet et *al.* (2002) connaissant la teneur en eau de la végétation grâce aux données météorologiques, on peut connaître la vitesse de vent minimale pour qu'il y ait propagation. Ce raisonnement est basé sur des bilans de transferts d'énergie entre la flamme et la végétation. Plus la flamme est inclinée, plus la part du rayonnement dirigé vers le sol est importante et par la suite la quantité d'eau qui peut être évaporée est augmentée. Par conséquent pour une teneur en eau donnée, il faut un angle minimum d'inclinaison de la flamme pour que le séchage ait lieu.

En changeant la direction ou en augmentant la vitesse du vent, la propagation du feu ne prend pas la même allure. Il change l'orientation des écoulements de gaz. Selon DUPUY (2000), lorsqu'un vent est imposé, à certaine distance du feu, il modifie les écoulements naturellement engendrés par la combustion (cf. chapitre III). La simulation montre que lorsque la direction du vent est dans le sens de la propagation du feu, les gaz chauds vont vers l'avant du front de feu et croissent avec le vent ce qui explique une accélération dans l'avancée du feu. Ceci amplifie l'advection de chaleur en direction de la végétation encore imbrûlée, accélérant son échauffement.

2-4-Effet de la pente, exposition

Comme vu dans le chapitre III, de même manière à l'effet du vent, on observe des écoulements de gaz chauds depuis le foyer vers la végétation encore imbrûlée, ceci jusqu'à une certaine distance en avant du front qui doit s'accroître avec la pente. Les échanges convectifs sont accrus. Pour un feu montant en pente, les forces de flottabilité s'exercent dans

une direction (la verticale) qui forme un angle d'autant plus fermé avec la direction de propagation, que la pente est forte. Exposition et l'insolation activent le feu dans le déclenchement et dans la propagation.

3-Contour du feu

Les contours du feu sont réalisés après incendie, par l'ONF, avec un GPS. Ces contours servent à calculer la surface parcourue par le feu, à connaître sa position géographique. Dans les modèles on les utilise pour la reproduction de feux antérieurs.

Le contour feu est considéré, selon les travaux de CHEVROU (1996, 1998) comme un cordon de flammes dont l'épaisseur est égale à la propagation du feu en 30 secondes, durée voisine de celle de la combustion des éléments fins qui brûlent dans les flammes. La forme est une ellipse sur un sol horizontal avec une végétation isotrope.

L'excentricité de l'ellipse dans la simulation est fonction du vent, du relief, de l'exposition et de la pente. Tous ces facteurs sont intégrés dans le logiciel. Lors de la réalisation de la simulation des questions de réflexion et de tentative d'essai afin de retrouver la solution à tous les cas possible et rencontré sont soulevées :

- Que se passera – t- il si on change tel ou tel scénario ?
- Diminuer ou augmenter le vent ?
- Homogénéiser les espèces végétales ?
- Réduire la densité végétale ?....

Contrairement aux autres modèles tels que le modèle semi empirique, on remarque que Prométhéus ne calcule pas la hauteur des flammes. Pour le simulateur utilisé, la propagation du feu ne se fait que horizontalement, il ne montre rien dans le sens vertical c'est-à-dire de la strate herbacée à arbustive à la strate arborée, comme elle se fait dans le milieu naturel en présence d'une structure mixte. Pour décrire et prédire la propagation d'un feu à plus grande échelle, on utilise des modèles de contagion, qui ne sont pas représentés dans notre cas.

Quotidiennement, les services de la météorologie nationale fournissent par petites zones, d'une part des données et des prévisions sur le vent, et d'autre part des estimations de l'état hydrique de la végétation. Avec les modèles, les services locaux de sécurité civile estiment l'extension du feu et la position du front de l'incendie dans les premières heures. Les positions successives sont simulées sur des modèles à ellipses dont les dimensions dépendent du vent, de la pente, de l'exposition et de l'état de la végétation.

Dans le cadre opérationnel, l'utilisation des simulateurs de propagation est primordiale pour répondre à toutes les questions sur un feu qui s'est déclenché afin de permettre d'opérer des choix tactiques en matière de lutte et de défense publique au sens large (zone d'évacuation, zones à risque...). La même simulation peut également servir en matière de prévention pour l'établissement des Plans de Prévention des Risques Incendies de Forêts, pour la formation des cadres et des groupes de commandement ; à estimer le temps d'accès au front de feu des divers centres de secours et les temps de rotation des camions aux points d'eau. En cas de foyers multiples, les cartes informatiques et les modèles pourraient aider, en temps réel, les responsables de la lutte dans les choix stratégiques. On peut alors simuler l'implantation des pistes, de pare-feu et de grandes coupures en divers endroits afin de :

- voir comment le feu sera ralenti ou arrêté;
- voir en quels endroits l'énergie du feu pourrait créer de fortes ascendances si des lignes EDF, voies ferrées, bâtiments, villages, industries étaient exposés, et dans quels délais.

Selon PICARD et *al.* (2004) depuis plusieurs années, l'objectif du SDIS13 et INTEGRAPH Public Safety est de créer un outil intégrant, un simulateur macroscopique sur un Système d'Information Géographique pour visualiser la propagation du sinistre. Le Centre d'Essais et de Recherche de l'Entente (CEREN) participe à la validation et à l'optimisation de cet outil. L'intégration d'un GPS permet, durant le sinistre d'effectuer des relevés de terrain tels que le contour réel du feu et l'action des moyens de lutte. Des moyens de communications permettent l'acheminement de l'information de la simulation dans la chaîne de commandement (à partir de Poste de Commandement du terrain (PC), jusqu'au Centre Opérationnel de Zone (COZ) en passant par le Centre Opérationnel Départemental (CODIS)).

4-Conclusion tirée de la simulation

La méthode de simulation d'évaluation des dangers d'incendie de forêt est utilisée pour déterminer le comportement possible d'un incendie de forêt en temps réel. Elle se sert de données sur les combustibles forestiers et la topographie ainsi que de renseignements météorologiques passés et présents pour appliquer les principes scientifiques de la combustion afin de prédire les caractéristiques du comportement du feu et le type d'incendie (de surface ou de cimes). Les gestionnaires des incendies utilisent ces données pour formuler des stratégies quotidiennes de lutte contre les incendies, répondre aux besoins de prévention et mettre en œuvre des brûlages dirigés.

Il sera difficile à la recherche, à moyen terme, de fournir un modèle de propagation du feu suffisamment fiable dans toutes les situations rencontrées.

Conclusion générale

Conclusion générale

De tous les dangers qui menacent la forêt, le feu est de loin le plus destructeur. Toutes les forêts brûlées ne sont pas à l'abri d'un nouvel incendie. La forêt méditerranéenne est sujette chaque été à de nombreux incendies, difficiles à prévoir et à localiser. Elle peut être un jour la proie des flammes. Toutes fois le risque n'est pas identique partout ; il s'avère :

- très fort dans les forêts du littoral,
- fort dans les forêts de l'arrière pays,
- réduit en moyenne montagne et
- faible en haute montagne.

L'analyse du déroulement des incendies de forêts de 1973 à 2003 dans le département des Alpes-Maritimes, comparée à d'autres départements méditerranéens permet de supposer un avenir marqué par :

- une augmentation du nombre d'incendies de forêt durant le trimestre d'été, notamment en haute altitude conséquemment à l'élévation de la limite supérieure des arbres ;
- une évolution du risque d'incendies en fonction du type de végétation se développant à l'avenir, surtout à basse altitude ;
- l'auto-succession végétale résultant des incendies qui correspond à un appauvrissement des espèces. Ce phénomène sera surtout sensible dans les zones situées à basse altitude.

L'espace du département des Alpes-Maritimes, depuis que Prométhée existe, n'a pas été épargné par les incendies. Il est classé cinquième dans l'ordre des départements, touchés par ce fléaux. Sur trente années, 59 115 hectares ont brûlé avec 6 337 feux. Ceci représente la destruction de 1 970,5 hectares pour 206 incendies déclarés dans l'année. Ce département reste extrêmement sensible. Avec 61 507 hectares parcourus dans les 15 départements du Sud-est, le bilan de la saison 2003 est le plus lourd enregistré sur les trente dernières années. Prométhée est ce titan qui selon les anciens grecs apporta aux hommes, avec le feu, les techniques grâce auxquelles ils ont pu asseoir leur domination sur la nature. Aujourd'hui, Prométhée pleure sur les cendres laissées par le feu et les limites de ses pouvoirs. Mais Prométhée, c'est aussi selon l'étymologie, celui qui « *pense avant* » ou « *en avant* », autrement dit, celui qui anticipe. L'espoir est donc permis. Les chiffres des années 1979, 1989

et 1990 avaient marqué les esprits, mais aucun de ces trois bilans n'avait dépassé les 60 000 hectares comme ce fut le cas en 2003, 53 351 hectares en 1979, 56 871 hectares en 1989 et 53 897 hectares en 1990. Au total depuis le début de l'année 2003 en France, la superficie touchée par le feu peut ainsi être évaluée à 72 500 hectares (alors que pour ces dix dernières années nous avons une moyenne pour la France métropolitaine de 75 000 hectares de formations forestières et subforestières, dont près de 62 000 hectares pour la seule zone méditerranéenne). Le nombre d'incendies relevés en 2003 traduit l'âpreté de la saison (temps caniculaire). Avec 388 feux de forêts, c'est un des plus forts bilans en nombre, des trente dernières années. Plus de 2 000 départs de feux, sur 30 ans ont été recensés, ce qui représente 66 incendies par saison et par an. D'immenses surfaces de forêt partent, d'année en année en fumée dans le bassin méditerranéen. Ainsi le Portugal a vécu une année 2005 catastrophique. Pour la période du 1^{er} juin au 18 juillet 2005, l'Algérie recense, selon IBRAHIMI (2005) une perte de 2 033 hectares de forêt et de massifs, de 715 hectares de récoltes (céréales) et la perte de 100 000 bottes de fourrages, soit une fréquence de 712 incendies de forêt et 369 feux de récolte. Selon la même source, la protection civile de Tizi Ouzou affirme que tous les incendies recensés sont d'origine criminelle.

L'examen de la répartition annuelle de ces départs de feux confirme la complexité du phénomène ; hiver comme été, le département des Alpes-Maritimes n'échappe pas à ce phénomène. Les incendies sont concentrés dans l'espace et dans le temps. En effet la répartition saisonnière des surfaces brûlées est plus visible que celle des départs de feux. Les gros sinistres se produisent l'été alors que cette saison ne représente que 36 % des départs de feu. Les incendies sont donc beaucoup plus destructifs en été. Le climat intervient dans la propagation du feu (fort ensoleillement, faible pluviométrie, insolation). La végétation se fragilise, connaît une forte évaporation. La moindre étincelle rend par la suite le feu incontrôlable. La canicule et la sécheresse sont deux phénomènes à la fois concomitants et complémentaires qui affectent les forêts. L'importance de la sécheresse semble avoir eu un rôle majeur dans la vitesse de propagation des feux qui ont embrasé les massifs forestiers. Les espèces végétales des forêts du Sud-est sont particulièrement sensibles aux feux. En peu de temps, les feux atteignent de grandes surfaces. L'inquiétude vient surtout des grands feux non maîtrisables avec une végétation et un sol secs, une absence d'humidité pour freiner la propagation rapide du feu. Les mises à feu pendant les autres saisons ont nettement moins de chance de dégénérer. C'est le cas en automne où malgré 10 % des départs de feux, les superficies brûlées sont faibles. Les incendies hivernaux sont liés à des dérapages de feux qui

se produisent de plus en plus fréquemment du fait de l'embroussaillage croissant du milieu. Le feu pastoral est recensé avec une fréquence assez élevée.

Les zones très sensibles dans notre cas, sont les zones où le risque est permanent, ou cyclique. Il s'agit d'endroits menaçant gravement l'équilibre écologique, la sécurité des personnes et des biens, ou contribuant à l'accélération des processus de désertification des zones rurales. Selon les résultats obtenus, l'aléa dans les Alpes-Maritimes couvre une grande surface, présent surtout au Nord, à l'intérieur et à l'Ouest. Ce sont les formations arbustives, maquis et garrigues et les forêts de conifères qui sont menacées. L'étude de la répartition géographique des incendies montre qu'aucune des communes n'échappe au fléau. Le nombre de feux est en augmentation régulière dans tout le département. L'exode rural, largement illustré dans le département des Alpes-Maritimes, se traduit dans un premier temps par une diminution des mises à feu liées à l'agriculture, aux travaux forestiers et à l'élevage. Dans un deuxième temps, tout porte à croire que la déprise rurale, facteur de développement de friches et de fermetures des paysages, pourrait augmenter les surfaces incendiées de manière spectaculaire. La probabilité des sinistres est plus importante pour les surfaces de moins de un hectare. Dans ce contexte, l'action des pompiers ne peut concourir à réduire le nombre d'incendies, mais contribuer uniquement à contenir l'extension et l'impact sur des zones incendiées. Sur l'ensemble du territoire, plus de 50 % des feux concernent des surfaces de moins d'un hectare. Les conditions climatiques favorisent le risque d'éclosion puis de propagation des feux pendant l'été méditerranéen, chaud, sec et venté. Les températures de l'air, élevées en juillet et août, associées aux faibles précipitations, placent la végétation dans un état de stress hydrique plus ou moins sévère selon les années. Par types de dommages ce sont les feux d'herbes qui dominent. Ils ont représenté 66 % des types de feux indéterminés et de bosquets avec 8 % des éclosions. La classification supervisée, méthode de détection-identification, utilise le plus souvent les signatures spectrales mesurées par le capteur pour classer chaque zone et ensuite les comparer pixel par pixel. La réalisation de cette classification par maximum de vraisemblance sur l'image satellite SPOT des Alpes-Maritimes montre que la zone incendiée est répartie sur toute la carte, représentée par de petites taches. Grâce à la radiométrie, on a pu détecter sur l'image SPOT la reprise végétale après feu. Les facteurs qui aident à la compréhension de cette revégétalisation sont la présence ou l'absence d'eau. Les incendies de forêts engendrent des modifications fondamentales dans l'occupation du sol. La végétation est en effet totalement détruite. Elle laisse alors place à un sol nu, avant de se reconstituer au fil du temps, suivant une dynamique conditionnée par des facteurs aussi

divers que la composition du peuplement d'origine, sa résilience, la diversité spécifique des peuplements voisins, la fertilité du substrat,...L'analyse en composante principale, ACP, montre que la sécheresse est trop importante au moment de la prise de l'image. Peu de zones végétales sont visibles et il n'est pas évident de dire que ces zones soient humides. Il s'agit d'un milieu totalement sec, d'un dessèchement du sol, privé de pluie pendant de nombreux mois. L'ACP obtenue montre une sécheresse, étouffant toute la surface de la région concernée. Ce qui explique pourquoi ces zones sont qualifiées de très vulnérables au feu. Compte tenu de la conjonction de dessèchement superficiel, et peut être profond de ces sols, des incendies sont susceptibles de se déclarer en toutes conditions.

Le département des Alpes-Maritimes est caractérisé par un risque moyen de 0,46 %. L'étude du nombre de feux en fonction des heures induit à l'hypothèse que la majorité des incendies sont dus à une malveillance totale. La grande majorité des feux de forêts sont déclenchés à la suite d'une action humaine criminelle ou accidentelle. Les causes de départs de feux sont rarement, clairement identifiées. Sur sept ans, la proportion des feux d'origine inconnue ou sans enquête est de 43 %. Le pourcentage des incendies dont la cause est déterminée est de 57 %. Plusieurs caractéristiques, particulièrement évidentes, démontrent que les activités humaines exercent une influence directe ou indirecte sur le déclenchement des incendies. La majorité des incendies se déclarent les jours fériés (y compris en fin de semaine entre 10 heures et 20 heures) ; le rythme de vie de la population se répercute directement sur la distribution temporelle des incendies (heures de travail, heures d'été, etc....) ; les causes ont changé en fonction de l'évolution socio-économique. Les causes involontaires dues aux loisirs représentent une part importante des feux connus, soit 19 %. Elles regroupent les travaux forestiers, agricoles, industriels et publics, ainsi que des reprises d'incendies. Parmi cette famille de causes, l'origine agricole des feux revient fréquemment. Elle englobe les travaux agricoles, les feux de végétaux sur pieds, les feux de végétaux coupés. Ces dernières années ont montré que les incendies les plus catastrophiques sont ceux déclenchés par les pyromanes en particulier dans le bassin méditerranéen. Selon le directeur général des forêts de Tizi ouzou (Algérie), sur 300 feux de forêt qui ont ravagé 1 600 ha l'été 2005, les raisons relèvent du facteur humain pour 80 % des cas (RACHIDIOU, 2005).

Les responsables des Alpes-Maritimes, lieux marqués par des incendies dramatiques, ont pris conscience du danger : développement des moyens d'intervention au sol et aériens, perfectionnement des dispositifs d'alerte, départementalisation des SDIS, mobilisation des

« *comités communaux feux de forêts* » aux côtés des pompiers. De plus en plus de communes réalisent des travaux de DFCI, cherchant, en particulier dans le sylvo-pastoralisme, un moyen d'entretien pérenne des forêts. La polémique porte sur la vertu des « coupures agricoles », « du petit feu » et du « contre feu », de l'avenir du « compost de broussaille », de la « filière bois ou liège ». Bref, les incendies de forêt, la forêt en général, étaient devenus une préoccupation intellectuelle et pratique pour tous les acteurs publics ou privés. Les résultats obtenus montrent que l'élément déterminant sur le comportement futur des feux de forêt réside toutefois dans la manière dont le territoire sera géré. Les facteurs anthropiques cruciaux seront : la gestion des sols, l'éducation environnementale et les dispositions légales. Ces composantes pourront probablement masquer les facteurs naturels. L'étude de l'évolution de l'occupation du sol à travers les photographies aériennes et grâce au SIG montre que les incendies de forêts ne sont pas des phénomènes naturels mais des faits de société. La zone boisée d'hier, productrice, entretenue, anthropisée dont on tirait un revenu mais vide de résidences et de touristes, est à l'opposée de celle d'aujourd'hui, tout à la fois vidée et cernée par le bâti. Sauf à envisager la fin de l'urbanisation du département, voire la destruction des constructions existantes en forêt, le recul de son industrie touristique, il faudra bien enfin admettre qu'il n'y a pas d'un côté un espace naturel à protéger des hommes et de l'autre des hommes à protéger de la forêt, mais un « *mixte* » qu'il conviendrait de traiter comme tel. Il faudra bien admettre aussi que la protection des zones urbanisées et celle des zones naturelles ne peuvent plus continuer à relever de dispositifs distincts et de politiques antagonistes mais doivent impérativement être coordonnées et financées. Comme le souligne en 2003, Pierre Yves COLLOMBAT, le Maire de Figanières le problème n'est pas d'empêcher les incendies de forêt, pure illusion, mais d'éviter qu'ils ne se transforment en catastrophes. Cet objectif d'apparence modeste est le seul tenable. L'atteindre suppose au moins deux conditions :

1 - prendre le risque de catastrophe au sérieux. Comme dit JP Dupuy : « *Il s'agit de faire comme si on avait à faire à une fatalité, afin de mieux en détourner le cours.* ». Cela implique de faire son deuil de la croyance selon laquelle il y a une solution technique à tout et qu'il suffirait d'augmenter les moyens d'intervention pour être quitte. Cela amène évidemment à ne pas limiter l'horizon de l'action publique à celui du petit écran.

2 - considérer l'incendie de forêt et les moyens de le contrôler comme un système complexe où tout agit sur tout. Pas de politique d'intervention efficace sur le long terme, sans politique de prévention coordonnée et de niveau équivalent et réciproquement.

En conclusion l'incendie de forêt est un risque naturel contre lequel nous pouvons lutter mais nous ne pourrons jamais le stopper complètement, surtout que celui-ci se développe de façon différente selon le type de végétation et les conditions climatiques. Les incendies représentent une composante écologique essentielle de régulation naturelle de la biomasse et de la dynamique évolutive, notamment dans les écosystèmes forestiers inexploités. Les zones de basse altitude à risque élevé d'incendies, du Sud des Alpes, pourront se retrouver à l'avenir dans une situation extrêmement critique. Dès lors, il faudra apprendre à vivre avec une fréquence accrue des feux de forêt en fonction des impacts anthropiques. L'étude du comportement des feux de forêts dans le département des Alpes-Maritimes permet de constater que les moyens de prévention doivent être différents en s'adaptant aux types de forêts, à la topographie et au climat. Toutes les grandes essences forestières sont représentées en grandes quantités, poussant de façon anarchique et subissant un climat sec et ensoleillé sur un terrain escarpé. En conséquence, la prévention fait appel à plusieurs types de débroussailllements originaux tels que le brûlage dirigé ou le sylvo-pastoralisme. En résumé, depuis 30 ans, la problématique des feux de forêts a changé. Les feux moyens sont de plus en plus rares grâce à une détection et à une intervention rapide. Il est à signaler que, selon les résultats obtenus sur cette longue période, le caractère catastrophique des incendies de forêts ne signe pas l'inefficacité du dispositif d'alerte et d'intervention mais, tout au contraire, son efficacité. Plus il sera efficace, moins il y aura d'incendies de moyenne ampleur, plus les rares départs de feux qui échapperont à sa vigilance seront catastrophiques. Mais durant cette période étudiée suffisamment longue, il y a eu des petits incendies non maîtrisés qui ont pris de l'ampleur. C'est d'ailleurs l'évolution observée : « On se rend compte que depuis le milieu des années quatre vingt, les bilans lourds sont le fait de très grands feux ». Auparavant, les feux « moyens » (de l'ordre de 100 hectares) entraient pour une part importante dans le bilan global. Cette caractéristique traduit une efficacité accrue des moyens de prévention et de lutte mais souligne combien le problème demeure aigu dans le cas des grands feux simultanés « caractéristiques des bilans lourds depuis une quinzaine d'années ». Si le renforcement de la prévention n'accompagne pas celui des moyens d'intervention, il sera finalement contre-productif. Il reste le problème des grands incendies contre lesquels nous ne pouvons pas agir car ils sont le fait d'une conjonction de facteurs différents tels que le vent, le réchauffement climatique, la sécheresse, la fréquentation du public et évidemment la pyromanie. La forêt n'est pas une poudrière, un dépôt de carburant qu'il suffirait de placer sous haute surveillance pour qu'il se tienne tranquille. Elle ressemble plutôt à un dépôt de gaz qui fuirait. La biomasse produite à chaque instant, si elle n'est pas détruite par l'homme, l'animal ou le feu, demeure

sur place, augmentant d'autant le risque. Plus tardif sera la destruction, plus catastrophique l'incendie qui ne manquera pas de se déclarer. Nous pouvons donc dire que les préventions mises en place ont eu un impact important sur la maîtrise des incendies de forêts dans ce département puisque ceux-ci ont baissé et font moins de dégâts. Seulement, elles ne doivent pas faire oublier le risque toujours présent. Les récentes années de grands feux nous le rappellent. La protection de la forêt est l'affaire de tous. Le respect de quelques règles simples permet de réduire les risques d'incendies, auxquels le département est particulièrement exposé. Les feux dévastateurs qui ont sévi dans les Alpes-Maritimes, dans d'autres départements et dans d'autres pays en sont de tristes exemples.

L'étude diachronique de l'évolution du bassin versant du Paillon, par le biais de photographies aériennes et de l'image satellitaire, permet de cerner des dimensions spatio-temporelles très précises, telles que la progression du front d'urbanisation, les zones incendiées ou encore l'emprise de la forêt sur les espaces agricoles. Ces images aériennes ou satellitaires constituent des outils de travail remarquablement appropriés, pour appréhender les modifications de l'occupation du sol dans un milieu dynamique, en évolution constante comme les milieux incendiés et urbains. Elles révèlent plus facilement l'occupation du sol et reproduisent la surface avec beaucoup d'exactitude. L'évolution, les transformations, rapides et incessantes que connaissent de nos jours les milieux, nécessitent une observation minutieuse, en vue de planifier les espaces. Cette partie est donc une présentation des résultats observés tout au long de notre analyse : croisement de données pertinentes par le biais d'un SIG, identification de la nature des mutations constatées, délimitation de chaque secteur ayant été modifié, confrontation avec le zonage des risques naturels. Les Alpes-Maritimes connaissent une croissance démographique continue. Le département touristique arrive presque à saturation l'été. Ceci explique l'extension du bâti et accentue la vulnérabilité des milieux naturels face au risque incendie. La périurbanisation s'est énormément développée et on peut même parler de pressions sur des espaces naturels devenus de plus en plus convoités par des populations à la recherche d'espace et de mieux-être. Cette diffusion, à terme, peut s'avérer dangereuse : pollution, encombrement de la vallée, augmentation de la vulnérabilité des habitants.... Pour récapituler, l'homme a profité de ce qui avait été mis à sa disposition, vivant et évoluant grâce à son environnement naturel sans se soucier des risques encourus. Il n'a peut être pas tout à fait intégré l'idée que la nature a ses lois et que ses actes qui souvent la contrarient ne sont pas toujours positifs.

On remarque que pour les espaces naturels seuls, où le risque de propagation dépend de la matière combustible, le risque d'éclosion reste relativement faible. Comme cela a été dit la majorité des incendies déclenchés dans le département sont d'origine humaine. En revanche pour les espaces anthropisés le risque de propagation reste faible ; il varie selon le degré d'artificialisation des espaces. Les configurations de contact entre espaces naturels et anthropiques posent des problèmes majeurs en terme de gestion territoriale. Dans les espaces méditerranéens, la question des interfaces nature / activités humaines a, en particulier, des implications dans le risque d'incendie qui résulte de la présence simultanée de facteurs naturels et anthropiques, d'aléa et de la vulnérabilité au feu du milieu. La présence de l'homme en forêt ou à son contact multiplie les départs de feu. En l'absence de politique urbaine, le mitage va entraîner une augmentation des interfaces habitat – forêt. Les feux seront par ailleurs plus difficiles à combattre, à cause d'une biomasse combustible croissante. La prévention des risques d'incendies implique une politique d'entretien et de gestion de ces espaces, notamment aux interfaces. Les interfaces entre espaces anthropiques (périurbains ou agricoles) et naturels (forestiers ou sub-forestiers) peuvent être linéaires (lisières), ou surfaciques (marges). Ces zones d'interactions marquent une rupture, plus ou moins brusque, dans l'espace entre la portion d'un massif resté essentiellement dominé par des processus naturels et une partie où dominant les processus anthropiques. La dynamique anthropique de modification d'une zone naturelle est plus ou moins apparente, c'est-à-dire matérialisée par des structures (depuis la piste en terre jusqu'à la surface bâtie). De l'étude cartographique confrontant la répartition du milieu urbanisé et du zonage des risques naturels dans le bassin versant du Paillon, nous pouvons tirer la leçon suivante :

- si la population augmente, il lui faut plus d'espace puisé dans les zones dites à risques sachant que les risques existant dans le Paillon sont nombreux, aggravant par la même occasion la vulnérabilité des habitats face aux phénomènes naturels. Dans les communes de ce bassin, la population ne cesse de croître, les lotissements se construisent, certes en se référant au PPR et au zonage des risques naturels, mais certaines zones d'habitations sont susceptibles d'être en danger. Les communes périurbaines, aujourd'hui, doivent s'attendre à être très sollicitées, en raison du nouveau style de vie adopté par la société française. La population qui, il y a quelques années, fuyaient la campagne y reviennent. Par ailleurs, l'intensification de l'urbanisation entraîne les décideurs à repousser les limites du risque. Cette prise de décision permet à la commune concernée de pouvoir augmenter son potentiel résidentiel, mais à quel prix et jusqu'où cela sera-t-il tolérable ? Les versants demeurent très

actifs malgré les aménagements réalisés et la population s'installe de plus en plus dans des zones à risques. A terme, cette tendance pourrait poser des problèmes de cohabitation. L'évolution du réseau de communications pour les trois années révèle un grand changement concentré durant la dernière période. La déforestation atteint son maximum suite aux incendies, à la sécheresse et à la pollution. Les successions végétales observées dans le bassin sont souvent des successions destructrices ou de séries régressives soit par le retour du feu, soit par des facteurs biotiques et abiotiques, érosion, températures élevées, absence de précipitations,.....Les qualités d'infiltration dans le sol se sont dégradées en zone urbaine et l'imperméabilisation des sols favorise les écoulements de surface avec un constat inquiétant en ce qui concerne les constructions et les aménagements des chaussées, trottoirs et parkings. La hausse de densité de la population et en même temps d'habitations permet de conclure que les milieux forestiers ou agricoles se sont transformés en zones constructibles et dans certains cas, en faisant abstraction du contexte naturel actif, dont les risques restent omniprésents. Selon l'ACADÉMIE DES SCIENCES (1990), pour compenser l'augmentation actuelle du CO₂ atmosphérique (environ 6 milliards de tonnes / an), il faudrait planter 1 milliard d'hectares, soit la surface du Sahara. La contribution des incendies de forêt à l'augmentation du taux de CO₂ est importante, directement par les émissions et indirectement par l'arbre calciné. La vallée du Paillon, à caractère montagnard, a ses limites. Au fil des années et si cela continue, l'extension ne pourra s'effectuer que dans des secteurs à risques. Pour la population autochtone la vision des choses n'est plus la même. L'incendie représente un fléau, qu'il faut essayer d'éviter. Le problème réside au niveau des touristes et surtout des campings sauvages. Les dégâts causés par les phénomènes naturels sont toujours craints mais sont reconnus comme étant soit le résultat d'événements climatiques intenses, soit la conséquence des encombrements trop importants des vallées (croissance démographique, aménagements, ...). De nos jours, le problème est que les acteurs, bien que sensibilisés, restent indifférents au fait qu'un grand nombre d'aménagements génèrent de sérieux problèmes en terme de gestion des zones sensibles. Les phénomènes naturels sont de plus en plus dangereux et difficiles à gérer à cause de l'intensification de la population ; les zones d'habitation ont tendance à se rapprocher de plus en plus des secteurs à risques, ce qui complique la réflexion en terme d'aménagement et de lutte. Avec le réchauffement climatique aucune commune n'est à l'abri des incendies. De plus en plus, les risques et catastrophes sont aggravés par les concentrations urbaines, l'inconscience des risques de la part de la population, les activités concentrées dans des zones sensibles, mais également une prise en compte insuffisante de ces risques dans les schémas d'urbanisme. La population semble avoir perdu la notion du risque. L'incendie de

forêt est fréquemment la conséquence de l'imprudence, de l'inattention et de la négligence ; il apparaît bel et bien comme un risque sociologique. L'espèce anthropique est génératrice d'incendie. Plus l'espace est vivant, plus les probabilités d'éclosion augmentent.

La complexité du phénomène réside dans l'existence de nombreux mécanismes physiques et chimiques de base fortement couplés. La conséquence immédiate de ce fait est qu'il n'est pas toujours possible de prévoir d'une manière générale l'effet de la variation des paramètres influant sur le feu. On constate que le vent lorsqu'il souffle dans la direction de la propagation d'un feu, est un facteur aggravant du phénomène dont la solution reste difficile à trouver. De plus certains phénomènes importants concourent à cette complexité et font encore l'objet de recherches fondamentales spécifiques. Les résultats obtenus après simulation permettent de :

- prévoir les risques d'éclosion et de propagation d'un feu de forêt, l'évolution dans le temps de la position du front de flammes, les moyens de lutte à positionner sur le terrain ;
- calculer automatiquement dans l'espace la croissance et le comportement explicites des feux sauvages pour les allumages simples ou multiples dans des états hétérogènes de la topographie, des carburants et du temps ;
- montrer les différentes formes de feux en fonction du vent, de la végétation, de l'humidité et de l'heure d'éclosion ;
- fournir l'appui opérationnel à la suppression du feu en prévoyant le comportement des feux sauvages en situation de feu d'évasion.

La localisation d'une éclosion n'est pas aléatoire. Le lieu d'éclosion est particulier. Il rassemble des susceptibilités qui se combinent et qui, au-delà d'un seuil, amènent à l'incendie. Ces susceptibilités répondent à une pression sociale sur un environnement particulier. L'occupation humaine imprime sur l'espace des pressions qui, lorsqu'elles s'appuient sur un type de végétation adaptée avec des conditions climatiques propices, provoquent une éclosion d'incendie. Le feu est ainsi le produit d'un système de forces sociales et environnementales en interaction. Il serait intéressant de mesurer la pression anthropique d'un territoire qui, combinée à une étude sur les comportements potentiels des feux, localisent les zones les plus à même de générer des feux violents et de proposer une méthode reproductible pour modéliser les risques. La recherche universitaire et l'intervention des pompiers sur le terrain trouvent ici un lien tangible, l'une justifiant l'autre et vice versa,

s'enrichissant mutuellement. Les pompiers utilisent, les conclusions des chercheurs qui eux même vont puiser dans les observations de ces derniers, matière à enrichir leurs bases de données.

Arrivée au terme de ce travail qui m'a passionnée et enrichie, je tire la conclusion qu'une somme de données précises, des logiciels adéquats, la télédétection et le système d'information géographique sont des outils conséquents pour traiter de manière exhaustive de l'étude du feu de forêt et de son impact sur le milieu.

Nous vivons une ère paradoxale où le leitmotiv de beaucoup est de vivre et de profiter pleinement de tout, d'assouvir des besoins ici et maintenant à n'importe quel prix fusse au détriment du futur. L'adage populaire qui dit : « la terre ne nous appartient pas, nous l'empruntons à nos enfants », devrait être plus entendu par les consommateurs. Pourtant le respect de la nature va de paire avec le bien naître de l'homme. Je revois avec émotion et tristesse le combat de DAVID contre GOLIATH que mènent les portugais face aux fronts de flammes qui ravagent tout sur leur passage. La misère des moyens de lutte ajoute au drame, ces pauvres gens, qui avec sa pelle, qui avec son tuyau à eau, essayant vainement de se battre, image dérisoire soulignant si besoin est l'insignifiance de l'homme face à un élément qu'il croyait maîtriser ; plus de 100 000 ha partis en fumée, des villages détruits, des familles ruinées.

Au journal télévisé du soir, défilent des images, de la Nouvelle Orléans, du Mississipi, noyées. Que d'eau !!! Des dégâts chiffrés en milliards de dollars, des victimes non encore « comptabilisées » probablement des centaines. La première puissance économique et militaire du monde n'en peut plus, désarmée qu'elle est devant tant de force. Dame nature reprend ses droits et impose une seule et unique loi, la sienne ; à l'homme de se soumettre ou de démettre. Qu'elle pleure (inondation), qu'elle rugisse (volcan), qu'elle tremble (séisme), qu'elle transpire (feu), la terre ne fait que vivre. Elle n'est pas l'ennemie de l'homme. Peut être lui fait- elle payer un loyer et souvent dans un excès d'humeur lui demande -t- elle un peu plus de respect.

Dans mon petit village familial perché à 1300 m au cœur du Djurdjura, qui ne connaissait ni le tout à l'égout, ni l'électricité, ni l'eau courante, si loin de toute route goudronnée, il y a eu un débat rude entre « modernistes » et « traditionalistes », certains voulaient tout immédiatement d'autres prêchaient le statu quo. Si aujourd'hui, je ne sens plus

l'odeur de l'huile brûlée, si la lumière obéit à l'interrupteur et l'eau sort du robinet, les arbres sont toujours là. Fixant solidement le sol, assurant la survie physique du village en lui épargnant éboulements et érosion. Je peux cueillir les figues, les pommes, les poires et les oranges à même la branche. Marcher sur la terre battue où les dalles ancestrales que certains disent millénaires, entendre le bruit des oiseaux quitte à marcher deux kilomètres pour prendre la voiture et rejoindre « la civilisation ».

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Cette bibliographie, m'a permis un voyage passionnant à travers le monde du feu. Découverte fondamentale de l'Homme, le feu, cet élément sera toujours le meilleur et le pire. Jamais l'Homme ne pourra se passer du feu, comme il aura toujours à s'en méfier.

Une connaissance plus approfondie de l'écosystème notamment dans sa partie végétale, si riche par sa diversité, approché antérieurement lors d'étude en sylviculture. Venant d'un pays immense dominé par le Sahara, l'arbre plus qu'ailleurs prend sens.

La découverte de certain logiciel comme Map info, Idrisi, Er mapper a éveillé ma curiosité et m'a stimulé dans mes lectures. La photographie a ouvert l'esprit de la béotienne aux notions de vitesse, de focale et d'obturateur. Le satellite m'a fait butter sur les adjectifs satellitaires et satellitaires. Redécouvert les notions d'orbite circulaire et elliptique, compris enfin l'expression géostationnaire. Je suis arrivée au SIG doucement ayant fait un voyage. Mais je crois qu'il commence.

A

ACADÉMIE DES SCIENCES, 1990, *L'effet de serre et ses conséquences climatiques*, évaluation scientifique - Rapport n° 25, Paris, 5 p.

AFP (Agence France presse), 2003, *Feux en Espagne et en Croatie*, 16 Août 2003 <http://www.liberation.fr>, 1p.

AFP et Reuters, 2003, *Le feu « calamité publique » au Portugal, Plusieurs décès en Europe et de gros problèmes pour l'agriculture*, 05 août 2003, <http://www.liberation.fr>, 2 p.

ALEXANDER (M.E.), 1982, *Calculating and interpreting forest fire intensities*, Canadian Journal of Botany, vol. 60, pp. 349-357.

ALEXANDRIAN (D.), 1982, *Estimation de l'inflammabilité et de la combustibilité de la végétation*, Bulletin d'information du CEMAGREF n)28, pp 31-39.

ALEXANDRIAN (D.), 1988, *Feu contrôlé et contre-feu dans les Maures et l'Estérel en 1869*, Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, juillet 1988, pp. 218-224.

ALEXANDRIAN (D.) et MOREIRA da SILVA (J.), 1988, *L'expérience portugaise de Ninho*. Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, n°1, juillet 1988, pp. 204 - 210.

ALEXANDRIAN (D.) et GOURIAN (M.), 1990, « *Les causes d'incendies : levons le voile* », Revue forestière française, n° spécial : espaces forestiers et incendies, pp. 33-41.

ALEXANDRIAN (D.), ESNAULT (F.) et CALABRI (G.), 1998, *Feux de forêt dans la région méditerranéenne*, juillet 1998, <http://www.fao.org/>, 4 p.

ALLIGNOL (F) et SANDAKLY (F.), 2000, *Systèmes d'information géographique urbains: état de l'art et problématique*, Juin 2000, Nice, Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 15 p.

ARMINES – CEMAGREF – DELALE - MTDA., 2001, *Plans de Prévention des risques naturels PPR*, Risques d'incendies de forêt. Guide méthodologiques, 81 p.

AUSSENAC (G.) et GRANIER (A.), 1979, *Etude bioclimatique d'une futaie feuillue (Fagus sylvatica L. et Quercus sessiliflora Salish.) de l'Est de la France II. Etude de l'humidité du sol et de l'évaporation réelle*. Annales Sc. Forestière, 36 (4), pp. 265 – 280.

AUSSENAC (G.) et GRANIER (A.) et NAUD (R.), 1982, *Influence d'une éclaircie sur la croissance et le bilan hydrique d'un jeune peuplement de Douglas*, (2), pp. 222 – 231.

B

BAKIS (H.) et BONIN (M.) 2000, *La photographie aérienne et spatiale : apport de l'image numérique*, Que sais-je ? Paris : Presses universitaires de France, 127 p.

BARRY - LENGIER (A.), EVRAD (R.) et GATHY (P.), 1988, *La forêt*, Paris, Gerfaut club, 619 p.

BECKER (M.), PICARD (J.-F.) et TIMBAL (J.), 1981, *La forêt le milieu vivant, l'Homme et la forêt, les grandes forêts de France, les arbres de la forêt*, Avec la collaboration de GERMAIN G ET NAVARIN J., Paris, New York, Barcelone, Milan, Masson et REP (Réalisations Editoriales Pédagogiques), 191 p.

BELLEMARE (L.), 2000, *Un modèle multiphasique de prédiction du comportement d'un feu de végétation*, Thèse de doctorat, Université de Provence, Aix-Marseille, Université de Provence, 142 p.

BELVAUX (E.), 2002, *Défense des forêts contre l'incendie. Des matériels spécifiques viennent compléter la panoplie des équipements hydrauliques traditionnels. Les bruits de la forêt méditerranéenne*, bulletin de liaison trimestriel : La feuille et l'aiguille, n° 49, décembre 2002, pp. 3-4.

BENOIT de COIGNAC (G.), 1988, *Le contre-feu est-ce la seule technique efficace d'extinction des grands incendies ?* Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, n°1, juillet 1988, pp. 228-229.

BENZECRI (J. P.) et BENZECRI (F.), 1984, *Pratique de l'analyse des données- Analyse des correspondances et classification*, Ed. Dunod, Paris, Tome 1, 456 p.

BERSTEIN (L.), 2000, *Apprendre à cerner le risque, L'art de la gestion des risques*, les échos le quotidien de l'économie, pp. 3-5.

- BERTAULT (J-G.), 1992, *Etude de l'effet du feu en forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire au sein d'un dispositif d'expérimentation sylvicole*, Thèse de doctorat, SCD Sciences et Techniques, Nancy 1, 234 p.
- BIANCO (J.M.), 1989, *La forêt de Sivens : analyse et cartographie des milieux forestiers*. Maîtrise géographie, Biogéographie ; Montagne - Piémont, 121 p.
- BIGOT (S.), BROU YAO (T.), DIEDHIOU (A.), LAGANIER (R.), 1999, *Détection des feux de végétation en Côte d'Ivoire à partir des données AVHRR et ATSR : Relations avec le NDVI et les précipitations*, Publication de l'Association internationale de climatologie, vol. 12, Aix en Provence, pp.34-42.
- BILGILI (E.), 1997, *Les incendies de forêt et les politiques de gestion des incendies en Turquie*, Université technique de Karadeniz, Faculté de foresterie, Trabzon, Turquie, International Forest Fire News (IFFN). www.fao.org, 5 p.
- BINGGELI (F.), 1988, *Terroriser les incendies pour une peine de mort*, Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, n°1, juillet 1988, pp. 225-227.
- BINGGELI (F.), 1988, *Notre fumée blanche en Avignon : nos attentes et nos espoirs*, Notre idée-clé. Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, n°1, juillet 1988, pp. 238-239.
- BIROT (Y.) et LA CAZE (J.F.), 1994, *La forêt*, France, Dominos, Flammarion, 126 p.
- BLANCHI (R.), 2001 *Contribution Méthodologique à la conception d'une politique publique en matière de prévention des risques naturels, Application au Plan de Prévention des risques incendie de forêt*. Thèse de doctorat, spécialité Ingénieur et gestion, Ecole des Mines de Paris, 278 p.
- BORCHIPELLINI (S.), 2002, *Géologie des Alpes-Maritimes*, Serre Editeur, 117 p.
- BOUISSET (C.), 1999, *Acteurs et territoires de la protection des forêts méditerranéennes contre l'incendie : L'exemple Catalan, Ecobuage et gestion de l'espace*, Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 69-74.
- BOUISSET (C.), 1998, *Les incendies de forêts méditerranéens : limites, marges, frontières. Des seuils écologiques aux limites politico administratives, du local à l'europpéen, un siècle de gestion des incendies en France, Espagne et Italie*, Thèse de doctorat, option géographie, Université d'Avignon, 376 p.
- BOUISSET (C.), 2000, *Montagne et incendie de la forêt dans les Alpes- Maritimes : de la connaissance du risque à sa gestion*, Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n°12. La montagne et le savoir, pp. 71-78.
- BUFFIERE (D.), FAERBER (J.), LE CARO (P.), METAILIE (J.P.), 1992, *Des « ecobuages aux feux dirigés dans les Pyrénées centrales et occidentales. Evolution et rôle actuels de la pratique du débroussaillage par le feu*, Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée., n° 32, pp. 103-110.

BURGEL (G.), 1990, *Ville en parallèle – peuplements en banlieue*, numéro 15 – 16 juin 1990. Université de Paris X – Nanterre – Laboratoire de géographie urbaine, pp. 217 – 220.

BRICE (D.), 1993, *Organiser l'espace pour une meilleure protection contre les incendies*, Mémoire de Maîtrise Sciences et techniques, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier Grenoble, 86 p.

C

CARREGA (P.), 1999, *Contes (Alpes - maritimes françaises) : une vallée continentale et mal ventilée, bien que proche de la mer*, Publication de l'Association Internationale de Climatologie, vol. 12, Aix en Provence, pp.34–42.

CEMAGREF, 1989, *Protection des forêts contre les incendies*, Guide Technique du Forestier Méditerranéen Français, Chapitre 4, Aix-en-Provence, 61 p.

CEMAGREF – CREQAM - MTDA, 2000, *Approche méthodologique pour l'aide à la décision d'aménagement pour la protection contre les incendies de forêts*, <http://mtda/GIS/Proposition1/propol1.htm>. Septembre 2000, 8 p.

CEMAGREF - ENGREF, 2000, *Indices satellitaires et stress hydrique de la végétation méditerranéenne : du bosquet au pixel*, <http://mtda/GIS/Proposition2/propo2.htm>. Septembre 2000, 10 p.

CENTRE DE SUIVI ECOLOGIQUE, 1996, *L'imagerie NOAA / AVHRR dans la veille environnementale*, Rapport technique. Ministère de l'environnement et de la protection de la nature, Dakar – Sénégal, pp. 39-43.

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES., 1990, *Téledétection spatiale*, Université d'Eté Européenne, Toulouse, Cépraduès. Enseignement et Espace, 309 p.

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES, 2001, *Fusion de capteurs: Etude de l'évolution de la végétation*, <http://www.iac2001.org.htm>, 2 p.

CEREN – LEMTA – LEPT - SDIS 13, 1999, *Instrumentation et mesures de données sur incendies de forêt*, <http://mtda/GIS/LEMTA/LEMTA.htm>. Mars 1999, 4 p.

CHADOEUF (J.), AUSSENAC (G.) et GRANIER (A.), 1988, *Analyse de la variation spatio-temporelle et modélisation statistique des variations de stock d'eau du sol en forêt*. Ann. Sci. For., 45 (4), pp. 323–340.

CHALIFOUX (S.), CAVAYAS (F.) et GRAY (J.), 1993, *Suivi de la ressource forestière à l'aide des images satellites*. Dossier de la revue de Géographie Alpine n° 9, SIG et environnement, Université de Montréal et Université Joseph Fourier, institut de géographie Alpine Grenoble, pp. 53 –58.

CHALINE (C.) et DUBOIS-MAURY (J.), 1994, *La ville et ses dangers : pratique de la géographie*, Paris – Milan – Barcelone, Masson, 247 p.

- CHAM'S, (.), 1994, *Enseigner les risques naturels, pour une géographie physique revisitée*, Paris, Anthropos / GIP Reclus, 227 p.
- CHAUMONTET (O.), 1988, *Le feu contrôlé comme outil de débroussaillage dans le massif des Maures*, Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, juillet 1988, pp. 206 - 212.
- CHEN (D.W.), LIU (Z.Q.) et WANG (Z.F.), 1985, The severity of forest fires. Journal of North Eastern forestry College, China 13 (2), pp. 56-63
- CHEVROU (R.B.), 1992, *Modélisation de la progression des feux de forêt, phénomène chaotique*, Revue Forestière Française, vol. XLIV, n° 5, pp. 435-445.
- CHEVROU (R.B.), 1996, *Les modèles feu de forêt et leur utilisation pour la prévention*, Revue Forestière Française, vol. XLVIII, n° 5, pp. 446-461.
- CHEVROU (R.B.), 1998, *Protection des personnes et des biens contre l'arrivée d'un front de feu*, Revue Forestière Française, vol. L, n° 2, pp. 149-158.
- CHIARAMELLO (J.M.), 1988, *Incendie de forêt : utilité d'un mini – tunnel du feu et de la méthode EETS des mesures de température*, Thèse de doctorat sciences biologiques fondamentales et appliquées, psychologie, Nice, 178 p.
- CHUVIECO (E.), ALONSO (M.), MARTIN (P.), SALAS (J.), KYUN I y CAMARASA (A.), 1999, *Estimacion del peligro de incendio forestales mediante imgenes NOAA- AVHRR VII*, Simposio Latinoamericano de Percepcion Remota Puerto Vallara, México, pp. 601 - 612.
- CINOTTI (B.), 1996, *Evolution des surfaces boisées en France: proposition de reconstitution depuis le début du XIX^{ème} siècle*, Revue forestière française, vol. XLVIII, n° 6, pp. 547–562.
- CIRAD, 2001, *La caractérisation spatiale du combustible pour des végétations en situation de coupe - feux. Extraction de paramètres pour des modèles physiques de propagation du feu*, <http://mtda/GIS/Caraglio/CARAGLIO.htm>, 3 p.
- CLARAMUS (C.) et LARDON (S.), 2000, *SIG et simulation*, Revue internationale de géomatique. European Journal of GIS and Spatial Analysis. Paris, Hermes Sciences publications, 155 p.
- CLARKE (M.), 1990, *Geographical Information System and Model Bases Analyses : Towards Effective Decision Support Systems*. Geographical Information System for Urban and Regional Planning, pp. 195-175.
- COIGNARD (J.), 2003, *Feu sur les incendiaires : Chirac, Sarkozy et Perben veulent traquer les pyromanes*, 30 juillet 2003, <http://www.liberation.fr/>, 2 p.
- COLLOMBAT (P. Y.), 2003, *La lettre des maires ruraux du Var*, Maire de Figanières Président de l'Association des Maires Ruraux du Var, Premier Vice Président de la Fédération National des Maires Ruraux, Juillet – Août, 7p.
- COMBES (F.), 1990, *Après le feu ... la boue*, Revue Forestière Française, n° spécial : espaces forestiers et incendies, pp. 303-306.

COLLET (C.), 1992, *Systèmes d'information géographique en mode image*, Lausanne, Presses Polytechniques et universitaires Romandes, Gérer l'environnement, 186 p.

COROLLER (C.), 2003, *La canicule s'en donne à cœur joie. Pollution, sécheresse, incendie, les recors s'accumulent*, <http://www.liberation.fr>, 07/08/2003, 2 p.

D

DAUPHINE (A.), 2001, *Risques et catastrophes : observer – spatialiser – comprendre – gérer*, Paris, Arnaud Colin, 288 p.

DAVID et LILLE (2005), Dégradations, destructions Suivi de la destruction du couvert végétal à l'aide de l'imagerie satellitale spot, <http://www.ird.nc/BASE/BIODIVERSITE/orig-dta/expo/two66.htm>, 2 p.

DEDIEU (J.P.), 1993, *Téledétection appliquée à l'environnement et Systèmes d'Information Géographie: le cas des images en zone de montagne*, Dossier De La Revue De Géographie n° 9, SIG et environnement, Université de Montréal et université Joseph Fourier, Institut de géographie Alpine, Grenoble, pp. 59 – 62.

DELAGARDE (J.), 1983, *Initiation à l'analyse des données*, Ed. Dunod, Paris, 157 p.

DERIOZ (P.), 1999, *Un outil de gestion de l'espace ? Un vieux débat, une question d'actualité*, Ecobuage et gestion de l'espace, Montagnes Méditerranéennes, CERMOSM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 53–56.

DERVIN (C.), 1988, *Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances*, S.T.A.T.I.T.C.F. Institut National Recherche Agronomique, Institut National Agronomique, Paris, 75 p.

DESBOIS (N.) et VINE (P.), 1997, *Téledétection et incendies de forêt en zone méditerranéenne*, Dossiers de l'Agronomie, Téledétection Thérapies et médicaments. Cercles des élèves de l'Institut National d'agronomie, Paris, Office National des Forêt, pp.12-17.

DIRECTION DE L'AVIATION ET DE LA LUTTE CONTRE LES INCENDIES DE FORET, 2002, *Comportement du feu*, <http://www.mnr.gov.on.ca/MNR/affmb/Fire/Science/Behaviourfr.htm>, 3 p.

DIRECTION DE L'AVIATION ET DE LA LUTTE CONTRE LES INCENDIES DE FORET, 2002, *Ecologie du feu*, <http://www.mnr.gov.on.ca/MNR/affmb/Fire/Science/Ecologyfr.htm>. 4p.

DONG W, 2003, *Comment faire participer toute la population à la prévention des incendies de forêts : la politiques chinoises de la dernière décennie*, <http://www.fao.org/docrep/003/x2095f/x2095f16.htm>. 4p.

DROUET (J-C.), 1988, *Considération sur le modèle de feu par vent arrière*, Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, n°1, juillet 1988, pp. 202-203.

DROUET (J.-C.), GIROUD (F.) PICARD (C) CHARREL (B.) et MOSSE (M.), 2002 *Mieux gérer la lutte contre les feux de forêts*, IUT d'Aix en Provence, CEREN, Integraph –IPS, 268 p.

DUCHE (Y.), 2001, *Contribution du traitement d'images SPOT à l'élaboration d'un plan de prévention des risques d'incendies de forêt*, Actes des journées méditerranéennes pour la prévention des risques naturels 6 et 7 décembre 2001, Sophia Antipolis, pp. 72-73.

DURAND () et FLAHAULT (C.H.), 1886, *Les limites de la régions méditerranéenne en France*, Bulletin Soc. Bot de France.

DONOSO (J.A.), 1997, *Perspectives sur la gestion des forêts tempérées*, XI Congrès Forestier Mondial, 13 – 22 octobre, Antalya, Turquie, 22 p.

E

EASTMAN (J.R.), 1995, *IDRISI, in S.I.G. en mode image*, Lausanne, Publication du CRIF, 647 p.

EDF-GDF Nice Alpes- D'AZUR *Histoire de l'électricité et du gaz à Nice*, <http://www.ville-nice.fr/economie/edf/histoire.htm>, 10 p.

EMBERGER (L), 1973, *Les limites de l'aire de la végétation méditerranéenne en France*, Bulletin Soc. Histoire Naturelle, Toulouse, T. 78, pp. 159-180.

ENSMP – CREDECO - LATAPSES – STID., 2000, *Etude prospective sur la mise en œuvre des plans de prévention des risques d'incendie de forêt (PPRIF) - quel devenir pour les zones rouges des PPRIF*, <http://mtda/GIS/Proposition/propo01.htm>. Mars 2000, 16 p.

ESTIENNE (P.) et GODARD (A.), 1998, *Climatologie*, Paris, Armand Colin, 368 p.

ETIENNE (M.), 1997, *Intégrer des activités pastorales et fourragères aux espaces forestiers méditerranéens pour les rendre moins combustibles*, Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement, 29 pp. 169-182.

EUROPARL, 1996, *Enjeux de la recherche forestière*, section V.20.1, <http://www.europarl.eu.int/workingpaper/agri/s5-20-1-fr.htm>, 10 p.

EUROPARL, 2003, *Lutte contre les feux de forêt : l'Union européenne prend les devants*, Edition 14 novembre, http://europa.eu.int/comm/environment/news/efe/14/article_274_fr.htm, 3 p.

F

FAURE (M.), 1991, *La forêt et l'incendie : quelques leçons du passé*, Actes du 113^e congrès National des sociétés Savantes, Strasbourg, 1988. (Textes réunis et présentés par Andrée CORVOL du groupes d'Histoires des Forêts Françaises), Paris, éd. CTHS, pp. 77-88.

FAO, Futura sciences, octobre 2003 -*Les incendies détériorent de plus en plus les forêts du monde* www.futura-sciences.com, 2 p.

FAO, 2002, *Forêts... répondre aux besoins du présent sans sacrifier l'aptitude des générations futures à répondre à leurs propres besoins...* » Sommet Mondiale sur le développement

FAO, et Regional office for Asia and the Pacific, 2003, *-Community-based fire management : Case studies from China, The Gambia, Honduras, India, The Lao People's Democratic Republic and Turkey.* Bangkok, Thailand, <http://www.fao.org/DOCREP/006/AD352T/AD352T00.htm>

FOGEARD (F.), 1987 *Les incendies dans les landes bretonnes caractéristiques et conséquences sur la végétation et le sol.* Thèses ès sciences naturelles « écologie », université de Rennes, U.E.R. des sciences de la vie et de l'environnement, 343 p + 68 p d'annexes.

G

GARGUET – DUPOURT (B.) et GIREL (J.), 1995, *Ecologie du paysage et télédétection des milieux alluviaux*, Revue Ecologie Alpine, Grenoble, Tome III, pp. 67-81.

GEORGES (P.) et VERGER (F.), 1996, *Dictionnaire de la géographie*, Paris, Presses Universitaires de France, 500 p.

GIRARD (M.C) et GIRARD (C.M), 1975, *Applications de la télédétection à l'étude de la biosphère*, Masson, 186 p.

GIRARD (M.C) et GIRARD (C.M), 1999, *Traitement des données de télédétection*, Paris, Dunod, 529 p.

GIROUD (F.), 1997, *Contribution à la modélisation de la propagation des feux: approche multiphasique des feux de forêt. Développement d'un feu de propergol en milieu semi-confiné*, Thèse de doctorat Sciences, Université d'Aix – Marseille 1, 196 p

GOURIN (S.), 1999, *Usage du feu et évolution des paysages de montagnes en Ardèche*, Ecobuage et gestion de l'espace. Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 57–68.

GOWARD (S.N.), MARKHAM (B.), DYE (D.G.), DULANEY (W.) et YANG (J.), 1991, *Normalized difference vegetation index measurement from Advanced Very High Resolution Radiometer Remote Cens.* Environ. 35, pp. 257 – 277.

GROS (M-J.), 2003, *Pollution et incendies dans l'ombre de la canicule, La chaleur sera au rendez – vous aujourd'hui*, 05 août 2003, <http://www.liberation.fr>, 2 p

GUARNIERI (F.), 1995, *Modèles de systèmes et systèmes de modèles dans les systèmes à base de connaissances : application à la prévention des incendies de forêts*, Thèse de doctorat, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, Grenoble, 219 p.

GUILLARD (J.), 1976, *Les incendies de forêts*, Tome 1, Revue Forestière Française, Nancy, Berger – Levrault, 264 p.

GUMUCHIAN (H.) et MAROIS (C.), 2000, *Initiation à la recherche en géographie, Aménagement, développement territorial, environnement*, Paris Montréal, Les Presses de l'université de Montréal, Anthropos, Economica, 425 p.

GOACOLO (A.), 2001 *Réflexions sur les différentes étapes de mises en œuvre du SIG pour la gestion des feux de forêts en Charente- Maritime : évaluation des besoins et démarches pour mettre en place un référentiel territorial* Mémoire DESS, Méthodes et Outils au Service de la Gestion du Territoire, Institut de géographie Alpine, université Joesph Fourier, 107 p.

GOLDAMMER (J.), 2001 *Détection des feux de forêt, L'influence des incendies sur les forêts et sur le reste de la végétation*. www.arte-tv.com/hebdo/archimed/20010424/ftxt/sujet1.html, 24 avril 2001. 2 p.

H

HENRY (M.) a, 2003, *Le Sud-Est toujours menacé, La France demande de l'aide à ses voisins*, 30 juillet 2003, <http://www.liberation.fr/>, 2 p

HENRY (M.) b, 2003, *Les foyers de la désolation. Cinq morts, évacuations par milliers, dans les maures et en Corse*, 30 juillet 2003, <http://www.liberation.fr/>, 3 p.

HENRY (M.) c, 2003, *Dans le Var, 70 pompiers luttent contre les flammes « si on envoie la colonne, on crame tous »*, 31 juillet 2003 <http://www.liberation.fr/>, 2 p.

HENRY (M.) d, 2003, *Le pyromane, coupable trop parfait, 80% des incendies seraient dus à l'imprudence*, 01/08/2003, <http://www.liberation.fr/>, 3 p.

HETIER (J-P.), 1988, *L'aménagement et la gestion forestière dans les espaces protégés, Forêt méditerranéenne*, Tome X, n° 1, juillet 1988, pp 42-44.

HUET (S.), 2003, *Une météo propice aux incendies*, 30 juillet 2003, <http://www.liberation.fr/>, 3 p.

HUMBERT (G.), 2001, *Evolution de la dynamique érosive en fonction de l'occupation du sol*, Mémoire de Maîtrise Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, Grenoble, 45 p.

HOUEROU le (H.W.), 1980, *L'impact de l'homme et ses animaux sur la forêt méditerranéenne*. Revue Forêt Méditerranéenne, T. II, n° 1, pp. 31-34

I

IBRAHIM S., 2005, *Feux de forêt 2 033 hectares ravagés depuis le 1^{er} juin*. <http://www.liberte-algerie.com/>; 18 juillet 2005, 1 p.

IFN, 2004, *Alpes-Maritimes, résultats du III^{ème} inventaire forestier (2002)*, Inventaire Forestier National, Echelon de Montpellier, Lattes, 187 p.

IMEP – UMR – CNRS - CEMAGREF, 1999, *Analyse spatiale et fonctionnement de la réponse des écosystèmes et de la régénération du pin d'Alep après incendie en Basse Provence calcaire*, <http://mtda/IMEP/IMEP.htm>, 8 p.

INSEE, 2002, *La France en faits et chiffres (population)* www.insee.fr

INSEE-SUD, 1998, *Données sur le tourisme (Nombre de nuits à Nice)*

INVENTAIRE COMMUNAL, 1981, Fascicules « cartes » Alpes-Maritimes, 1979 / 1980, Paris, MALINVAUD, INSEE, 47 p.

J

JAPPIOT (M.), 1998, *Evaluation et cartographie du risque d'incendie de forêt vers une application sur le massif des Maures (sud-est de la France), à l'échelle des PPR*, Numéro spécial, 1998 Ingénieries : eau – agriculture – territoires. Risques naturels, CEMAGREF, pp. 105–114.

JULIAN (M.), 1978, *Les karts méditerranéens : orientation bibliographique d'après les travaux géomorphologiques récents de langue française*. Aix en Provence : Institut de Géographie Nice : Laboratoire de géographie Raoul Blanchard, bulletin n° 1, 30 p.

JULIAN (M.), 1980, *Les Alpes maritimes Franco – italiennes*, Etudes Géomorphologiques. Tome 1, Thèse de doctorat, lettres, Université d'Aix- Marseille II, 418 p.

K

KARLIKOWSKI (T.), DABROWSKA-ZIELINKA (K.), ZAWILA-NIEDZWIECKI (T.), GRUSZCZYNSKA (M.), SANTORSKI (Z.), SAKOWSKA (H.), JANOWSKA (M.), 1997, *The use of NOAA-AVHRR images for forest fire risk forecast*, Proc. Of the Forest Research institute in Warsaw N° 829, 72 p.

KERKACHE (R.), 1996 *Téledétection appliquée au diagnostic de l'enfrichement, traitement de photographies aériennes pour l'Opération locale des Chambarans (Isère)*. Mémoire de DEA, Gestion des Espaces montagnards, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, Grenoble, 111 p.

KESSEL (S.P.) et CATTELINO (P.J.), 1978 *Evaluation of the fire behavior information integration system for southern California chaparral wild – lands – environment Manag.*, Vol. 2, n° 2, 1978, pp. 135 - 157.

KESSLER (J.) et CHAMBRAUD (A.), 1990, *Météo de la France Tous les climats localité par localité*, Ed. J.C. Lattès, France, 391 p.

KOURTZ (P.), 1977, *An application of landsat digital technology to forest fire fuel type mapping* – in Canadian symposium on remote sensing, Vol. 2, 1977, pp. 1111 – 1115.

KOURTZ (P.), 1987, *The need for improvement forest fire detection – for*. Chron., Vol. 63, n° 4, 1987, pp. 272 – 177.

KRUSEL (N.), PETRIS (S.) 1993, *Staying alive : lessons learnt from a study of civilian deaths in the 1983 Ash Wednesday bushfires*, - Hotsheet, vol.2, n°1, pp 3–19.

L

LAARIBI (A.), 2000, *SIG et analyse multicritères*, Paris, HERMES Science Europe, 190 p.

LAGARDE (M.) 1992, *Les plans de zones sensibles aux incendies de forêt*, La forêt Privée, n° 207 et 208, pp 24-27 et 71-75 .

LAMADE (J-P.) et REYNAUD (A.), 1999, *Le brûlage dirigé : un savoir – faire technique*, Ecobuage et gestion de l'espace. Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 75–80.

LAMBERT (B.) et PARMAIN (V.), 1988, *Les feux froids d'hiver. Bilan de la campagne réalisée du 15 février au 15 mars 1987 dans la montagne sèche des Pyrénées-Orientales avec l'aide de l'Unité d'instruction de la sécurité civile n° 7*, Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, n°1, juillet 1988, pp. 205- 211.

LAMBERT (B.) et PARMAIN (V.), 1990, Les brûlages dirigés dans les Pyrénées orientales. De la régénération des pâturages d'altitudes à la protection des forêts. Revue Forestière française, XLII, pp. 141 – 157.

LAMBERT (B.), 1999, *Gestion des milieux naturels protégés. Le brûlage : un outil au service des pasteurs et des gestionnaires*, Ecobuage et gestion de l'espace. Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 37–40.

LAMPIN-CABARET (C.), JAPPIOT (M.), ALIBERT (N.) et MANLAY (R.), 2003, *Une échelle d'intensité pour le phénomène incendie de forêts*, SIRNAT – JPRN Orléans, 9 p.

LAMORY (J-M.), 2001, *S'orienter carte – Boussole – G.P.S.*, les guides de loisirs de pleine nature, Seyssinet, Paris Libris, 21 p.

LAVABRE (J.) et FOLTON (N.), ARNAUD (P.), MARTIN (C I.), 1997, *Impact d'un incendie de forêt sur l'hydrologie d'un petit bassin versant méditerranéen. Incertitudes liées à la méthodologie d'analyse et à la métrologie*, Actes de colloque Draix, Le Brusquet, Digne 22-24 octobre 1997, CEMAGREF, pp 41-52.

LAVABRE (J.) et ANDREASSIAN (V.), 2000, *Ecosystèmes forestiers « Eaux et forêts, La forêt : un outil de gestion des eaux ?* Avec la collaboration d'O. LAROUSSINIE, CEMAGREF, GIP ECOFOR, 116 p.

LAVIEILLE (J.M.), 2004, *Droit international de l'environnement*, 2^e édition mise à jour, Paris, Ellipses, 191p.

LBME - CEREN, 1998, *Mécanismes d'émissions de composés organiques volatils par des végétaux méditerranéens et étude des phénomènes d'embrasement spontané des nappes de COV émis*, <http://mtda/GIS/propo3.htm>, 6 p.

LBME - CEREN, 1998, *Etude de la corrélation entre données satellitales et végétales*, <http://mtda/GIS/402/402.htm>, 7 p.

LBME - CEREN, 1998, *Potentialités d'inflammation des formations végétales Méditerranéennes – Mécanismes d'émission dans l'air ambiant de molécules terpéniques par des végétaux méditerranéens*, <http://mtda/GIS/405/405.htm>, 2 p.

LBME - CEREN, 1998, *Pyroscope - L'auto-résistance des peuplements forestiers au feu en corse – du – Sud*, <http://mtda/GIS/407/407.htm>, 16 p.

LEMOINE (B.), BONHOMME (D.), CHINZI (D.), COMPS (B.), BERGHERET (H.), GELPE (J.), JUSTE (C.) et MENET (M.), 1983 *Elevage en forêt dans les Landes de Gascogne. I- Le système végétal*, Annales Scientifiques Forestières, 40 (1), pp. 3–40.

LEOUFFRE (M.C.) et LECLERC (B.), 1995, *Dynamique paysagère et évolution des risques d'incendies. L'exemple d'une vallée des Préalpes*, Et. Rech. Syst. Agraires Dév., 29, pp. 153-167.

LE ROY LADURIE (E), 1967, *Histoire du climat depuis l'An mil*, Paris, Champs, Flammarion, 287 p

LICHT (D.), 2003, *Incendies en Europe et au Canada*, 06/08/2003. <http://www.liberation.fr>, 2 p.

LIEUTAUD (J.), 2001, *Une mer entre trois continents, La Méditerranée*, Capes/ Agrégations. Paris, Ellipses, 271 p.

M

MANCHE (A.), 1988, *La prévention des incendies dans les espaces naturels protégés*, Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, n° 1, juillet 1988, pp 46–47.

MARTIN (C.), 1986, *Contribution à l'étude de la dynamique des versants en roches métamorphiques ; l'exemple du massif des Maures (Var, France)*, Thèse Doctorat d'Etat, Université de Paris I, 3 Tomes, 935 p.

MARTIN (C.) et CHEVALIER (Y.), 1991, *Premières conséquences d'un incendie de forêt sur le comportement hydrochimique du bassin versant du Rimbaud (Massif des Maures, Var, France)*, Hydrologie Continentale, Vol. 6, n°2, pp. 145-153

MARTIN (R.E.) et SAPSIS (D.B.), 1992, *Fires as agents of biodiversity – pyrodiversity promotes biodiversity*, Berkeley, university of California, 23 p.

MARTIN (C.), BERNARD - ALLEE (P.), KUZUCUOGLU (C.) et LEVANT (M.), 1995, *Mesure de l'érosion mécanique des sols après un incendie de forêt dans le massif des Maures*, In :Livres des résumés du colloques « Crues, versants et lits fluviaux », Paris, pp. 123-124.

MARTIN (C.), 1997, *Relations entre l'érosion hydrique et l'agressivité des pluies après incendie de forêt dans le bassin – versant du Rimbaud (Var, France)*, Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 5, pp.15–19.

MARTIN (R.), 2001, *Etude du risque incendie de forêts – diagnostic par commune – Département de l’Hérault*, Conseil du Groupement d’Intérêt Scientifique «Incendies de forêts». <http://MTDA/GIS/activites/Notes-BOYRIE/BOYRIE.htm>, 4 p.

METAILIE (J.-P.), 1981, *Le feu pastoral dans les Pyrénées centrales (Barousse, Oueil, Larboust)*, Ed. CNRS, 301 p.

METAILIE (J.-P.), 1999, *Le feu : un « entre – deux » scientifique et social*, Ecobuage et gestion de l’espace, Montagnes Méditerranéennes, CERMOSM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 81–86.

METEO FRANCE, 2000, *Bulletin climatique annuel, 1988-1999*, Service central exploitation Météorologique, Direction de la Météorologie Nationale Ministère de l’Equipement, du Logement et des Transports, Trappes, 72 p.

METEO FRANCE, 2002, *Conditions météorologiques pendant la campagne feux de forêt en zone méditerranéenne*, <http://195.200.162.17/prombasedoc/bilan2001/B8.htm>. 18 / 09 / 2002, 4 p.

MILLY (P.C.D.) et EAGLESON (P.S.), 1987, *Effects of spatial variability on Annual Average Water Balance*. Water Resour. Res., 23 (11), pp. 2135 – 2143.

MINISTERE DE L’AGRICULTURE ET DE LA FORET, *La revue forestière française*, (1974, 1975, 1990, 1993), n° spéciaux. Espaces Forestiers et Incendies

MINISTERE DE L’AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L’ENVIRONNEMENT, MINISTERE DE L’EQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, 1997 *Plans de prévention risques naturels prévisibles : guide général*, la Documentation française, 76 p.

MINISTERE DE L’AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L’ENVIRONNEMENT, MINISTERE DE L’EQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, 1997 *Plans de prévention risques littoraux (PPR) : guide méthodologique*, la Documentation française, 54 p.

MINISTERE DE L’AGRICULTURE DE LA NUTRITION DE LA PECHE ET DE LA RURALITE, 2003, *La politique de prévention des incendies de forêt*. <http://www.agriculture.gouv.fr>

MINISTERE DE L’ECOLOGIE ET DE L’ENVIRONNEMENT, 2000 *Préface et introduction – Guide du plan de prévention du risque incendie de forêt*, <http://www.environnement.gouv.fr/risques/risques-incendie/> 11aout 2000., 3P.

MINISTERE DE L’ENVIRONNEMENT, 2003, *Le risque feux de forêt* www.prim.net

MISSOUMI (A.), SAIDI (A.) et DJILLALI (A.), 2002, *SIG et feux de forêts en Algérie*, « Revue Forêt Méditerranéenne ». ISSN. Tome XXIII, n° 1, Juin 2002, www.fig.net, 14 p.

MISSOUMI (A.) et TADJEROUNI (K.), 2003 *SIG et imagerie Alsat1 pour la cartographie du risque d'incendie de forêt*, Algérie, TS13 Risk Management, 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5.

MOL (T.) et KÜCÜKOSMANOĞLU (A.), 1997, *Forest fires in Turkey*, In Proc. XI World Forestry Congress, Antalya, Turkey, 10 p.

MOLINIER (R.), VIGNES (P.), 1971, *Ecologie et biocénoses: les êtres vivants, leurs milieux*, Neufchâtel : Delachaux et Niestlé, 457 p.

MONGOLFIER (de), 2002, *Les espaces boisés Méditerranéens : situation et perspectives*, Les Fascicules du Plan Bleu 12 pour l'environnement et le développement en Méditerranée Sophia Antipolis, France, Economica, 192 p.

MOREIRA da SILVA (J.), 1988, *La stratégie de l'utilisation du feu dans la lutte contre les incendies forestiers*, Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, n° 1, juillet 1988, pp 194-195.

MORINIAUX (V.), 2001, *La Méditerranée, Questions de Géographie*, Paris, Editions du Temps, 399 p.

MOUREY (J-M.), 1988, *Les plans intercommunaux de défense forestière contre l'incendie et d'aménagement forestier (Pidaf) dans le département du Var. Outils de prévention et de lutte contre les feux de forêts pour une meilleure gestion*, Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, juillet 1988, pp. 207-214.

MTDA, 1992, *Etude préliminaire à la cartographie réglementaire du risque d'incendie de forêt*, 61 p.

MTDA, 1996, *Plan des zones sensibles aux incendies de forêts, communes de Bastia et de Ville-di-Pietrabugno*, DDAF Haute-Corse, 32 p.

MTDA, 1999, *Plan de prévention des risques –presqu'île d'Avert, Charente Maritime*.

MTDA, 2001, *Méthodologie d'identification des pistes DFCI stratégiques en vue de leur numérisation*, 20 P.

MURTHA (P.A.), 1983, *Some air-photo scale effects on douglas – fire damage. Type interpretation – photogrametric engineering and remote sensing*, vol. 49, n° 3, 1983, pp. 327 - 335

N

NASI (R.), DENNIS (R.), MEIJAARD (E.), APPLGATE (G.) et MOORE (P.), 2001 *Les incendies de forêt et la diversité biologique*, www.fao.org, 6p.

NG (H.), 2003, *Chaud, chaud, chaud... Nouveaux records de température mardi, et mercredi sera caniculaire. Retour des incendies de forêts dans le sud. Pollution et sécheresse partout*, 05 août 2003, <http://www.liberation.fr>, 3 p.

NICOT (M.), 1999, *Réflexions des services pastoraux et agricoles de l'Hérault sur la réglementation. Ecobuage et gestion de l'espace*, Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 41-44.

NIELSEN (D.R.), BIGGAR J.W., ERH K.T., (1973) Spatial variability of field measured soil water properties. *Hilgardia*, 42 (7), 215-260.

NINGRE (J.M.), 2000, *Corrélations incendies / conditions météo. Conseil du Groupement d'Intérêt Scientifique « Incendies de forêts »*, <http://GIS/NOTE-NINGRE/NINGRE.htm>, 6 p.

NOUAR (S.), 2002, *Evaluation et cartographie du risque feux de forêt sur le département de la Drome*, DESS « Méthodes et outils au service de la gestion du territoire, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier Grenoble, 71 p.

O

OTTO (H.J.), 1998, *Ecologie forestière*. Institut pour le développement forestier, Paris, traduit par WALDÖKOLOGIE, 397 p.

OZENDA (P.), 1961, *Carte de végétation de Nice 1/200 000*, n°68, Editions CNRS - IGA.

P

PAGES (J.), 1988, *Le contre-feu : l'acquis cévenol au service de la forêt méditerranéenne*, Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, juillet 1988, pp. 215 -217.

PARKER (D.), 1992, Hazard management and emergency planning. Perspectives on Britain. James and James Science Publishers Ltd, 286 p.

PELLA (H.), 1995, *Apport des informations de texture à la classification de photographies aériennes panchromatiques*. Mémoire de diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées : Toulouse, Université Paul Sabatier, 37 p.

PERRETI - WATEL (P.), 1999, *Pourquoi et pour qui un risqué est-il acceptable ? Représentation du risque et inégalités sociales*. Les Cahiers de la Sécurité Intérieure. Risque et démocratie, pp. 9-35

PICARD (C.), GIROUD (F.), CHARREL (B.) et RAFALLI (N.), 2004, La simulation feu de forêts : FIRETACTIC, IV^{ème} Congrès international, Environnement et Identité en Méditerranée, Università Di Corsica Pasquale Paoli, Corte 19 – 25 juillet 2004, 37 p.

PUECH (P.), 1988, *Protection incendie et aménagement du territoire communal*, Revue Forêt Méditerranéenne, tome X , n° 1, pp 4-5.

PONT (M.) et DUCHE (J.), 2001, *Dispositif de lutte incendies, Alpes-Maritimes*, Service Communication du SDSIS et ONF, 7 p.

PPR, 2000, Plan de Prévention des Risques naturels (PPR), risques d'incendies de forêt, Guide méthodologique, Version1 : ARMINES – CEMAGREF – DEDALE - MTD, 81 p.

P.V.A, 1955 Calibration Certificate 3742-3743 au 1/25 000, IGN, Service de photogrammétrie et de cartographie numérique, Saint Mandé, 1 p.

P.V.A, 1977 Calibration Certificate 2904 au 1/20 000, IGN, *Service de photogrammétrie et de Cartographie Numérique*, Saint Mandé, 5 p.

P.V.A, 1990 Calibration Certificate 3742 et 3643-3743 au 1/25 000, IGN, *Service de Photogrammétrie et de Cartographie Numérique*, Saint Mandé, 5 p.

Q

QUEZEL (P.), 1976, *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*, Paris, Elsevier, Collection environnement 571 p.

R

RACHIDIOU M., 2005, *Conséquence de la canicule de ces derniers jours, nos forêts brûlent*, <http://www.elwatan.com/>, 18 juillet 2005, 1 p.

RAMBAL (S.) et IBRAHIM (M.) et RAPP (M.), 1984, *Variabilité spatiale des variations du stock d'eau du sol sous forêt*. *Catena*, 11, pp. 177 – 186.

RAMADE (F.), 1984, *Eléments d'écologie, écologie fondamentale*, [1], Paris, Auckland : Mc Graw - Hill, 397 p.

RAMADE (F.), 1985, *Les catastrophes écologiques*, Paris, Auckland : Mc Graw - Hill, pp. 115-122.

RAMADE (F.), 1990, *Conservation des écosystèmes méditerranéens: enjeux et perspectives*, Paris, Economica, fac. du plan bleu, pp. 59-61.

RAMADE (F.), 1999 *Dictionnaire de l'écologie*, Encyclopaedia universalis. pp.589-719.

RAMIER (E.), 2000, *Etude préparatoire à la rédaction du schéma départemental de protection des forêts contre l'incendie, de l'Ardèche*, Mémoire de DESS Méthodes et outils au service de la gestion du territoire, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier Grenoble, 82 p.

RAMPILLON (M.), 2004, *Après l'été 2003 : Le risque incendie de forêt en Isère*, Mémoire de Maîtrise, Institut de Géographie Alpine, université Joseph Fourier Grenoble, 140 p.

RIBET (N.), 1999, *L'invention du brûlage pastoral. Histoire d'un savoir – faire en réhabilitation*, Ecobuage et gestion de l'espace. Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp 23–30.

RIBET (N.), 2000, *Usages de la montagne : de la connaissance des savoirs traditionnels à l'invention d'outil de gestion, à propos des pratiques de brûlage pastoral*, Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, . La montagne et le savoir. n° 12, pp. 158-161

RIGOLOT (E.), 1993, *Le brûlage dirigé en région méditerranéenne française. In : Rencontres forestières chercheurs en forêt Méditerranéenne*, La grande Motte (34), 6-7 octobre 1992 INRA, Paris, (les colloques n° 63), pp. 223-250.

RIGOLOT (E.), 1999, *Le brûlage dirigé : cadre de développement et objets de recherche. Ecobuage et gestion de l'espace*, Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 31-36.

RIGOLOT (E.) et COSTA (M.), 2000, *Conception des coupures de combustibles*, Scientifique publication du réseau coupures de combustible aux éditions de la cardère. Décembre 2000 RCC 4, 156 p.

RIOU (M.), 1999, *La pratique du feu pastoral en Ardèche, Ecobuage et gestion de l'espace. Montagnes Méditerranéennes*, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 45-48.

RIVALIN (J.-P.), 1999, *Les causes d'incendies de forêts en 1998 et la base de données Prométhée*, Ecobuage et gestion de l'espace. Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 49-52.

ROBIN (M.), 2002, *La télédétection : des satellites aux SIG, une analyse complète du processus de création d'un type essentiel d'information géographique*, paris, Nathan université, collection Fac. Géographie, 309 p.

ROLLAND (C.), 1997, *Analyse statistique de la carte' de la végétation du Vercors par Système d'Information Géographique*, Revue d'Ecologie Alpine, Grenoble, tome 4, pp. 13-22.

ROUX (E.), 1999, *Les enjeux de la gestion de l'espace en Montagnes Méditerranéennes*, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, , Ecobuage et gestion de l'espace. Montagnes Méditerranéennes, CERMOSEM, Université Joseph Fourier, Le Pradel, n° 10, pp. 17-22.

RUI (A.), 2003, *le Portugal désarmé face aux flammes (manque de moyens et protection civile inorganisée*, 16/08/2003 <http://www.liberation.fr>, 1 p.

S

SABATIER (P.), 2003, *Prévisible*, 30 juillet 2003, <http://www.liberation.fr>, 1 p.

SAINT SEINE (de) (J.), 1995, *Monographie hydrologique et hydraulique du Paillon de Nice en vue de la gestion du risque inondation*, Thèse Institut National Polytechnique de Grenoble, Spécialité Sciences Physiques et Environnement. CETE- Méditerranée, 254 p.

SARR (B.), BOGGIO (D.), FALL (M.) et ROY-MACAULEY (H.), 1999, *Utilisation de la bioclimatologie et des SIG pour le suivi de la campagne Agricole au Sénégal*, Publication de l'Association International de Climatologie, Vol. 12, pp. 198-205.

SCOTT (E.), 1978, *Contribution à l'étude de l'interaction thermique : modélisation d'une détonation thermique en milieu multiphasique*. Thèse doctorat d'institut National Polytechnique de Grenoble 1, 168 p.

SEDE (de) (M-H.), 1995, *Proposition d'approche intégrée pour la mise en œuvre d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion et la planification du territoire*, Actes des journées Bases de données et systèmes d'information pour l'environnement, 12-13 juin 1995, Versailles, INRIA, 16 p.

SEIGUE (A.), 1985, *La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes, Techniques agricoles et production méditerranéenne*, Paris, Maisonneuve et Larose et A.C.C.T., France, 503 p.

SEIGUE (A.), 1987, *La forêt méditerranéenne française, Aménagement et protection contre les incendies*, La Calade, Aix en Provence, Edisud, 159 p.

SIMI (P.), 1981, *Une nature séduisante, âpre, hostile, partiellement conquise- in Corse*, pp. 215-238

SOULERES (O.), 2000, *Les incendies de Haute-Corse*, Revue forestière française LII 5, pp.401-405.

STEARNS (J.R.) et SANDFORD (B.P.), 1986, *Airborne – infrared observations and analysis of a large forest fire – applied optics*, vol. 25, n° 15, 1986, pp. 2554 –2562.

STEINBERG (J.), 2000, *Cartographie Télédétection Systèmes d'Information Géographique*, Paris, Campus géographie, SEDES, 160 p.

STEINBERG (J.), 2002, *Cartographie Systèmes d'Information Géographique et Télédétection*, Paris, Campus géographie, Armand Colin, 160 p.

T

TIRONE (L.) et ELLERKAMP (V.), 2003, *La région Provence – Alpes - Côte d'Azur à l'aube du XXI^{ème} siècle*, Revue géographie des pays méditerranéens, Trimestriel 3. 4. 2003, Tome 101, Publiée avec le concours de l'Université de Provence, de l'UMR TELEMME-CNRS, et de la Région Provence – Alpes - Côte d'Azur, 165 p.

THERIAULT (M.), 1996, *L'intégration des études environnementales et des SIG pour appuyer les décisions d'aménagement. Etudes environnementales et SIG : Un objet de recherche prometteur*, Revue de Géographie de Lyon, Lyon, vol. 71, 22 p.

THINON (M.), 1998, *L'empreinte du feu*, ARTE programme, ARCHIMEDE, <http://www.arte-tv/hebdo/archimed/19980414/ftext/sujet2.html>, 2 p.

THILLE (H.), 1992, *Télédétection et incendies de végétation : « conditions de mise en œuvre de la télédétection aérospatiale pour la reconnaissance des zones incendiées en moyenne montagne Corse »*, Mémoire de DEA de gestion des espaces montagnards, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier Grenoble, 56 p.

TRABAUD (L.), 1983, *Evolution après incendie de la structure de quelques phytocénoses méditerranéennes du Bas-Languedoc (Sud de la France)*, Annales Sciences Forestières, 40 (2), pp. 177-196.

TRABAUD (L.), 1989, *les feux de forêt mécanismes, comportement et environnement*, – Aubervilliers : France Sélection, 278 p.

TRONCHON (P.), 1991, *Risques majeurs, environnement et collectivités locales*, Berger Levraut, 196 p.

TROUILLON (A.), 2001, *Conception et réalisation d'un Système d'Information Historique pour la gestion des risques d'inondations*, Mémoire d'ingénieur, Conservatoire National Des Arts et Métiers. Centre régional associé de Grenoble, 54 p.

V

VALETTE (J-C.), 1988, *Notions générales relatives à la combustions*, Revue Forêt Méditerranéenne, Tome X, n° 1, juillet 1988, pp. 197 – 201.

VELEZ (R.), 2004, *Les incendies de forêts en 2003 une question européenne ?*, Ministère de l'environnement, Madrid, Extrait du Bulletin de l'Association internationale des forêts méditerranéennes, n°12, mars 2004- www.aifm.org, bulletin de liaison trimestriel : La feuille et l'aiguille n°55, juin 2004, 4 p.

VETTORI (G.), 2001, *les Plans de Prévention des Risques dans les Alpes-Maritimes. Evolution des outils et méthodes*, Actes des journées méditerranéennes pour la prévention des risques naturels 6 et 7 décembre 2001, Sophia Antipolis, pp.69-71.

VEYRET (Y.), 2001, *Géo - environnement*, Paris, Armand-Colin / VUEF, Collection Campus Géographie, 159 P.

VEYRET (Y.) et PECH P., 1993, *L'Homme et l'environnement*, Paris, Presse Universitaire de France, Collection Premier Cycle, 423 p.

VIE LE SAGE (R.), 1989 *La terre en otage*. Edition du Seuil, 246 p

VIRAMONTES (D.) et DESCROIX (L.), 2002, *Modifications physiques du milieu et conséquences sur le comportement hydrologiques des cours d'eau de la Sierra Madre occidentale (Mexique)*. Revue des Sciences de l'eau, pp. 493 – 513.

W

WEBER (R.O.), 1991 *Modelling fire spread through fuel beds*. Prog. Energy Combust. Sci., vol.17, pp. 67-82.

WHITE (P.S.) et PICKETT (S.T.A.), 1985, *natural disturbance and patch dynamics: an introduction* in PICKETT (S.T.A.) et WHITE (P.S.)Eds. The ecology of natural disturbance and patch dynamics Academic Press Inc., Orlando, pp. 3 – 13.

WYBO (J.L.), 1991, *Analyse basée sur des connaissances et suivi temps réel d'information géographique évolutive, Application à la prévention des incendies de forêt. Thèse de doctorat en sciences informatiques*, Université de Nice –Sophia Antipolis, 147 p.

Documents internet

<http://www.agriculture.gouv.fr> : Les orientations de la politique de prévention en 1999, 1999, 14 fiches

<http://www.cdig-var.org> *Risque, Feux de forêt*, (Comité Départemental d'Information Géographique

<http://www.cemagref.fr>

<http://www.environnement.gouv.fr>

Le risque feux de forêts, 2000, 7 pages

Plans de prévention des risques naturels, risques incendies de forêt, guide méthodologique, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Ministère de l'agriculture et de la pêche, Ministère de l'équipement, des transports et du logement, 2000, 91 pages

<http://www.environnement.gouv.fr/dossiers/risques/risques-majeurs/p21.htm>

<http://www.futura-sciences.com/>

<http://www.ifn.fr>, 2003

<http://www.incendies-de-foret.org>

<http://www.interieur.gouv.fr/défensesecu-civi>, 2002

<http://www.intérieur.gouv.fr> : Protéger la forêt contre l'incendie, le dispositif 2000, Direction de la défense et de la sécurité civile, 2000, 20 pages

<http://www.liberation.fr/> :

Incendie de garrigue près de Breil – Sur – Roya (Alpes-Maritimes), 16 juin 2003, 2 p.

Un pyromane présumé interpellé près de Nice, 29 juillet 2003, 1 p.

L'incendie des Maures est maîtrisé, 29 juillet 2003, 1 p.

Nouveaux départs de feu, trois pompiers blessés, 30 juillet 2003, 3 P

Le Var soulagé par la pluie, 31 juillet, 2003, 2 p.

Situation stabilisé dans le Sud, 01 août 2003, 2 p.

Incendies : Alerte à la canicule. Les massifs du Sud-est restent interdits d'accès, 02 août 2003, 2 p.

Un incendiaire condamné à 3 ans de prison dont une ferme à Toulon, 27/08/2003, 2 p.

<http://www.mediaforest.net> :

Dossiers spéciaux : les pompiers mettent le feu à la forêt !, 1999, 20 pages

<http://www.onf.fr> :

Arborescence n°72, dossier défense des forêt contre l'incendie, coordonné par Guy Chauvin, 2000, 33 pages

<http://www.Prim.net>:

Guide méthodologique plan de prévention des risques d'incendie de forêt, La documentation française, http://www.prim.net/professionnel/documentation/guide_incendie/page04.html

La documentation française, 2002,-Guide méthodologique plans de prévention des risques d'incendie de forêts,

http://www.prim.net/professionnel/documentation/guide_incendie/page04.html

Qu'est ce qu'un risque majeur « Les Feux de forêt », 2003.

<http://www.prométhée.com>, *Base de donnée Prométhée de 1973 à ce jour*

<http://www.senat.fr/rap/r03-195/r03-19524.html>, *La France et les français face à la canicule : les leçons d'une crise* ; rapport octobre 2003, 1 p.

<http://www.spotimage.fr> : l'utilisation des satellites spot dans la prévention des feux de forêts

<http://www.worldclimate.com>, *Climate Data for 43°N 7°E*, 1993

<http://fr.news.yahoo.com/>, *Deux enfants avouent avoir allumé par accident l'incendie sur les hauteurs de Nice*, Yahoo. Actualités, 6 juillet 2003, 19 h 50, 2 P..

Table des figures

<i>Fig. 1 : Les enjeux et le risque</i>	22
<i>Fig. 2 : Schéma de présentation de la problématique et d'organisation de la recherche</i>	29
<i>Fig. 3 : Présentation générale de l'organisation de la thèse</i>	30
<i>Fig. 4 : Evolution du pourcentage des surfaces recouvertes de forêt en France</i>	49
<i>Fig. 5 : Influence des perturbations sur le milieu, développement linéaire et cyclique de la forêt</i>	57
<i>Fig. 6 : Surfaces parcourues par le feu dans le sud de l'Europe</i>	67
<i>Fig. 7a et b : Le département des Alpes-Maritimes avec ses frontières. Le bassin versant, les sous bassins du Paillon avec les différentes communes qui les constituent, et les affluents du fleuve</i>	69
<i>Fig. 8 : Les Paillons secteurs à risques</i>	80
<i>Fig. 9: Géométrie relative de remplissage des dépôts alluviaux</i>	83
<i>Fig. 10 : Répartitions des précipitations annuelles en millimètres de 1950 à 1999</i>	89
<i>Fig. 11 : Précipitations moyennes mensuelles de 1949 – 1992</i>	90
<i>Fig. 12 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen, de Nice 2000</i>	92
<i>Fig. 13 : Climagramme d'Emberger, positionnement de Nice</i>	94
<i>Fig. 14 : Surface du territoire par couverture et utilisation du sol du département des Alpes-Maritimes</i>	95
<i>Fig. 15 : Evolution des forêts dans les massifs du département des Alpes-Maritimes, caractère méditerranéen décroissant</i>	98
<i>Fig. 16 : Taux de boisement du bassin versant du Paillon</i>	99
<i>Fig. 17 : Répartition de la population dans les départements des Alpes-Maritimes, pour les années 1973, 1982, 1990 et 1999</i>	103
<i>Fig. 18 : Mécanisme du feu</i>	116
<i>Fig. 19 : Prévision pour zones à fort risque</i>	118
<i>Fig. 20 : Origines des incendies, causes involontaires</i>	122
<i>Fig. 21 : Schéma de propagation d'un feu</i>	128
<i>Fig. 22 : Incidence des facteurs vents et topographie sur la propagation d'un feu</i>	119
<i>Fig. 23 : Processus de gestion des risques</i>	138
<i>Fig. 24 : liste des constructions ou activités soumises à autorisation préfectorale dans, ou à proximité des forêts soumises</i>	163
<i>Fig. 25 : Périodes pendant lesquelles la forêt est protégée dans les Alpes-Maritimes (1924-1964)</i>	169
<i>Fig. 26 : Schéma récapitulatif des différentes étapes étudiées ; la méthode de redressement des photographies aériennes</i>	193
<i>Fig. 27 : Composantes d'un SIG</i>	195
<i>Fig. 28 : Carte de CORINE Land Cover du département des Alpes-Maritimes</i>	202
<i>Fig. 29 : Contours de feux à Cagnes-sur-Mer, délimités avec un GPS par l'ONF et les Pompiers</i>	204
<i>Fig. 30 : Représentation d'une partie du Modèle Numérique de Terrain du bassin versant du Paillon en 3 D</i>	205
<i>Fig. 31 : De la carte topographique au Modèle Numérique de Terrain</i>	206
<i>Fig. 32 : Première étape, insertion de la photo aérienne</i>	210
<i>Fig. 33 : Entrée des caractéristiques de la photo et choix du mode de projection</i>	211
<i>Fig. 34 : Positionnement de la photo dans l'espace</i>	211
<i>Fig. 35 : Introduction des coordonnées géographiques</i>	212
<i>Fig. 36 : Positionnement des points amers, étape délicate</i>	213

<i>Fig. 38 : Dernière étape de rectification de la photo.....</i>	<i>214</i>
<i>Fig. 39 : Modèle de photographie n° 58 de 1990, orthorectifiée.....</i>	<i>215</i>
<i>Fig. 40 : Exemple d'une partie des voies de communications digitalisées sur la mosaïque de 1999 du bassin versant du Paillon.....</i>	<i>222</i>
<i>Fig. 41 : Exemple d'une partie du réseau hydrologique digitalisé sur la mosaïque.....</i>	<i>222</i>
<i>Fig. 42 : Habitats, exemple d'une représentation fermée.....</i>	<i>206</i>
<i>Fig. 43 : Variable espace urbanisé et superposition de couches « bâtis et routes », mosaïque de 1990.....</i>	<i>225</i>
<i>Fig. 44 : Digitalisation des variables regroupant forêt, haies, ..., mosaïque 1955.....</i>	<i>226</i>
<i>Fig. 45 : Les milieux cultivés et herbacés digitalisés sur la mosaïque de 1990.....</i>	<i>227</i>
<i>Fig. 46 : Détection d'un milieu incendié, mosaïque, 1977.....</i>	<i>211</i>
<i>Fig. 47 : Image satellite Spot 2, orthorectifiée par l'IGN, 60 km x 60 km.....</i>	<i>231</i>
<i>Fig. 48 : Influence de la structure interne des feuilles sur le comportement spectral.....</i>	<i>232</i>
<i>Fig. 49 : Importation et conversion du format BIL vers Idrisi (image).....</i>	<i>236</i>
<i>Fig. 50 : Principales opérations effectuées pour la réalisation d'une classification supervisée.....</i>	<i>236</i>
<i>Fig. 51 : Extraction et définition de signatures spectrales.....</i>	<i>238</i>
<i>Fig. 52 : Classification de l'image par maximum de vraisemblance.....</i>	<i>239</i>
<i>Fig. 53 : méthode d'Analyse en Composante Principale (ACP) sous Idrisi.....</i>	<i>241</i>
<i>Fig. 54 : Schéma suivi pour la réalisation de la simulation.....</i>	<i>247</i>
<i>Fig. 55 : Résultat de la méthode d'extraction d'une petite surface avec Surfer 8.....</i>	<i>248</i>
<i>Fig. 56 : Conversion avec Grid convert (MNT.grd vers .ascii).....</i>	<i>249</i>
<i>Fig. 57 : Analyse spatiale de la couche MNT, cartographie de la pente en classes.....</i>	<i>250</i>
<i>Fig. 58 : Analyse spatiale de la couche MNT, cartographie de l'exposition en différentes classes.....</i>	<i>251</i>
<i>Fig. 59 : cartographie de la végétation réalisée sous Arc map.....</i>	<i>235</i>
<i>Fig. 60 : Méthode suivie pour l'évaluation de l'aléa.....</i>	<i>263</i>
<i>Fig. 61 : Evolution du nombre de feux par années, entre 1973 - 2003, dans les.....</i>	<i>264</i>
<i>Fig. 62 : Répartition mensuelle des éclosions, 1973-2003, dans les Alpes-Maritimes.....</i>	<i>266</i>
<i>Fig. 63 : Répartition saisonnière des départs de feu dans les Alpes-Maritimes.....</i>	<i>269</i>
<i>Fig. 64 : Evolution du nombre d'incendies de forêts et des précipitations dans le département des Alpes-Maritimes.....</i>	<i>270</i>
<i>Fig. 65 : Répartition du nombre de feux par saisons (hiver et été)......</i>	<i>271</i>
<i>Fig. 66 : Nombre de feux éclos selon les heures de 1973 à 2003, dans le département des Alpes-Maritimes.....</i>	<i>273</i>
<i>Fig. 67 : Le nombre de départs de feux de forêts par communes dans le département des Alpes-Maritimes de 1973-2003.....</i>	<i>276</i>
<i>Fig. 68 : Corrélation entre les départs de feux et les surfaces brûlées.....</i>	<i>277</i>
<i>Fig. 69 : Surface combustible par communes du département des Alpes-Maritimes.....</i>	<i>279</i>
<i>Fig. 70 : Les proportions des autres feux dans l'espace rural et périurbain dans les Alpes-Maritimes, entre 1973 et 2003.....</i>	<i>280</i>
<i>Fig. 71 : Présence et absence de feux périurbains dans les Alpes-Maritimes.....</i>	<i>281</i>
<i>Fig. 72 : le nombre de feux dans l'espace périurbain par commune du département des</i>	<i>282</i>
<i>Fig. 73 : Trente années de surfaces brûlées dans le département des Alpes Maritimes.....</i>	<i>284</i>
<i>Fig. 74 : Surfaces brûlées réparties par mois de 1973 à 2003.....</i>	<i>285</i>
<i>Fig. 75 : Les grands feux d'hiver enregistrés dans le département des Alpes- Maritimes....</i>	<i>287</i>
<i>Fig. 76 : Les grands feux rencontrés en été dans le département des Alpes-Maritimes.....</i>	<i>288</i>
<i>Fig. 77 : Nombre de feux et surfaces supérieures à 100 hectares brûlées dans le département des Alpes-Maritimes.....</i>	<i>290</i>
<i>Fig. 78 : Surfaces combustibles par commune du département des Alpes-Maritimes.....</i>	<i>292</i>

Fig. 79 : Carte de l'intensité potentielle	303
Fig. 80 : Les différentes origines en pourcentage des feux de forêts dans les Alpes-Maritimes	306
Fig. 81 : Résultats d'une classification supervisée par maximum de vraisemblance.....	312
Fig. 82 : Zoom sur des zones incendiées.....	313
Fig. 83 : Image de l'axe 1 de l'ACP affichée avec la palette Quant 256	316
Fig. 84 : Histogramme de l'image, représentant le premier axe de l'ACP	317
Fig. 85 : Les communes appartenant au bassin versant du Paillon	323
Fig. 86 : Aperçu d'un milieu urbanisé du bassin versant du Paillon, dans les Alpes-Maritimes	324
Fig. 87 : Bilan et cartographie de l'extension de la zone urbanisée entre 1955, 1977 et 1999, dans le bassin versant du Paillon.....	306.
Fig. 88 : Evolution du milieu urbanisé pour 1955, 1977 et 1990 dans le bassin versant du Paillon	326
Fig. 89 : Evolution de la population niçoise de 1861 à 1999.	327
Fig. 90 : Désintéressement des habitants, absence de débroussaillage autour des maisons et des routes, dans le massif forestier du Paillon, mosaïque de 1977.....	332
Fig. 91 : Représentation cartographique des parcelles agricoles dans la vallée du Paillon de 1955, 1977 et 1990.....	314
Fig. 92 : histogramme de la répartition des milieux agricoles pour les trois années étudiées	336
Fig. 93 : Représentation cartographique de la végétation dans le bassin versant du Paillon de 1955, 1977 et 1990.....	340
Fig. 94 : Répartition, des calculs de surfaces des différentes strates de végétations, faites grâce à Map-info sur les mosaïques du bassin versant du Paillon.....	341
Fig. 95 : Implantation d'un village et reconstitution de la végétation brûlée évoluant vers un stade climacique (mosaïque 1990).....	342
Fig. 96 : classification des surfaces brûlées des communes, intégrant le bassin versant du Paillon.....	344
Fig. 97 : Représentation de la matrice de données, tableau de contingence, en histogrammes	348
Fig. 98 : Analyse globale (axes 1-2), mise en évidence de la variation des relevés feux de forêts dans le bassin versant du Paillon.....	350
Fig. 99 : Propagation simulée du feu.....	342

Table des tableaux

<i>Tableau 1 : Evolution du sol français à travers le temps.....</i>	47
<i>Tableau 2: Moyenne décennale de surfaces brûlées.....</i>	65
<i>Tableau 3: Dégâts annuels moyens pour la période de 1974 à 1978.....</i>	66
<i>Tableau 4 : Les Alpes-Maritimes face aux risques majeurs</i>	79
<i>Tableau 5: Caractéristiques topographiques des sous-bassins du Paillon</i>	81
<i>Tableau 6: Caractères géomorphologiques des sous-bassins versant du Paillon.....</i>	84
<i>Tableau 7: Températures moyennes minimales et maximales, année 2000</i>	87
<i>Tableau 8 : Valeur du quotient d'Emberger du bassin versant du Paillon</i>	93
<i>Tableau 9 : Surfaces du territoire par couverture -utilisation du sol et classes de propriétés</i>	96
<i>Tableau 10 : Structure des sous bassins versant du Paillon.....</i>	99
<i>Tableau 11 : Coûts financiers des feux de forêts en période estivale dans le département des Alpes-Maritimes</i>	101
<i>Tableau 12 : Nombre de nuitées recensées dans les hôtelleries et les camping par années .</i>	105
<i>Tableau 13 : Massifs forestiers classés en 1926 dans les Alpes-Maritimes.</i>	141
<i>Tableau 14 : les principales mesures de protection de la forêt contre l'incendie et leur champ d'application</i>	147
<i>Tableau 15 : Cinquante ans d'événements et de réglementations DFCI dans le département des Alpes-Maritimes.....</i>	167
<i>Tableau 16 : Caractéristiques des photographies aériennes utilisées.....</i>	192
<i>Tableau 17 : Caractéristiques de l'image 054262_0 Spot.....</i>	230
<i>Tableau 18 : Etablissement d'une légende avec description de chaque classe.....</i>	237
<i>Tableau 19 : Classement des départements français méditerranéens les plus touchés par les incendies de forêt (de 1973 à 2003) en surfaces brûlées et en nombre de feux.....</i>	260
<i>Tableau 20 : Les grands feux d'été enregistrés en 1986 et 2003, comptées comme années catastrophiques dans le département des Alpes-Maritimes.....</i>	291
<i>Tableau 21 : Les seuils d'intensité fixés pour la France</i>	295
<i>Tableau 22 : Vitesse de propagation du feu en fonction du type de combustible parcouru ..</i>	298
<i>Tableau 23 : Les seuils de pente</i>	299
<i>Tableau 24 : Combinaison des coefficients de pente et de vent.....</i>	300
<i>Tableau 25 : Biomasse des différents combustibles.....</i>	301
<i>Tableau 26 : Impacts financiers des feux de forêt en période estivale</i>	310
<i>Tableau 27 : Surfaces du milieu urbanisé, calculées à partir des documents cartographiques n° 78 grâce au logiciel Map info.....</i>	326
<i>Tableau 28 : Evolution des milieux agricoles selon les trois séries de photographies aériennes</i>	336
<i>Tableau 29 : Répartition des surfaces totales digitalisées, des différentes strates de végétations, observées dans le bassin versant du Paillon.....</i>	340
<i>Tableau 30 : Evaluation des incendies de forêt dans le bassin versant du Paillon.....</i>	344

Table des photos

<i>Photo 1 : Exemple d'une forêt méditerranéenne « la forêt de Lucéram »</i>	43
<i>Photo 2 : Forêt du Lucéram après le passage du feu, 15 août 2003</i>	44
<i>Photo 3 : Régénération de la végétation d'un versant du Paillon après le feu de 1996</i>	46
<i>Photos 4 : Spectacle de sites après l'incendie du 15 août 2003</i>	50
<i>Photo 5 : Arbres brûlés, exemple d'un cas de pyrolyse Cagnes-sur-Mer</i>	51
<i>Photo 6 : Abattage d'arbres par l'ONF de Nice, écorce noircie par le feu</i>	52
<i>Photos 7 : Paysages désolants après l'incendie de 2003</i>	53
<i>Photo de droite : Forêt de Lucéram, photo de gauche : Cagnes-sur-Mer</i>	53
<i>Photo 8 : Interactions milieux boisés / milieux anthropiques</i>	152
<i>Photos 9 : Habitations brûlées dans une forêt à proximité d'une route « Cagnes-sur-Mer »</i>	156
<i>Photo 10 : Exemple d'une piste en cul de sac dans le massif du Lucéram, entamée par les pompiers lors de l'incendie du 15 juillet 2003</i>	173
<i>Photos 11 : Différents types de points d'eau mis en place dans le bassin versant du Paillon (photos 1 et 2 : citerne en bois ; photo 3 : citerne en ciment et photos 4 et 5 : bassin)</i>	175
<i>Photo 12 : Un véhicule de SDIS équipé d'un GPS et d'un ordinateur</i>	182
<i>Photos 13 : Les dégâts causés par l'incendie de 2003 à Lucéram</i>	289
<i>Photo 14 : Inondation, Paillon novembre 2000</i>	347

Annexes

Annexes 1 : PPRIF, plan de prévention naturels prévisibles d'incendies de forêt

PREFECTURE DE

COMMUNE DE

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS PREVISIBLES
D'INCENDIES DE FORET

REGLEMENT

PRESCRIPTION :	VERSION DU 27/11/2002
ENQUETE du	APPROBATION

SOMMAIRE

Titre 1 Portée du P.P.R. - dispositions générales

- 1.1. délimitation du territoire couvert par le PPR
- 1.2. justification des risques pris en compte
- 1.3. zonage-définition des zones
- 1.3. effets du P.P.R..

Titre 2 Réglementation des projets nouveaux

- 2.1. dispositions applicables en zone rouge
 - 2.1.1. sont interdits
 - 2.1.2. sont autorisés avec prescriptions
- 2.2. dispositions applicables en zone bleue
 - 2.2.1. sont interdits
 - 2.2.1.1. dans les secteurs B1 et B1a
 - 2.2.1.2. dans le secteur B2
 - 2.2.2. sont autorisés avec prescriptions
 - 2.2.2.1. dans les secteurs B1 et B1a
 - 2.2.2.2. dans le secteur B2

Titre 3 Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde

- 3.1. rappel des obligations de sécurité dans toutes les zones
- 3.2. mesures obligatoires incombant à la commune
 - 3.2.1. points d'eau normalisés
 - 3.2.2. aménagement de voirie
 - 3.2.3. création et entretien de zones débroussaillées
 - 3.2.4. plan de secours

Titre 4 Mesures sur les biens et activités existants.

- 4.1 mesures obligatoires de portée immédiate
- 4.2 mesures obligatoires
- 4.3 mesures recommandées

Annexe : liste de recommandations

Titre 1 : Dispositions générales

- 1-1 Délimitation du territoire couvert par le PPR.

Le présent règlement s'applique à la totalité du massif forestier de X et plus particulièrement au(x) territoire de la (des) commune(s) de Y (et Z...) délimité dans le plan de zonage.

Son objectif est d'éviter l'aggravation des risques et autant que possible de réduire la vulnérabilité des personnes et des biens exposés.

- 1-2 Justification des risques pris en compte.

Le massif forestier de X est soumis à un risque d'incendie de forêt, dont l'intensité et la probabilité atteignent des niveaux pouvant compromettre la sécurité des biens et des personnes.

- 1-3 zonage - définition des zones

Le zonage est obtenu par la détermination des territoires exposés, des zones non directement exposées mais d'aggravation potentielle des risques et des espaces déjà urbanisés.

Le territoire sur lequel s'applique le P.P.R. est divisé en 3 zones définies ci-après :

- ❖ **Zones rouges**, dans lesquelles le risque est fort ; les phénomènes peuvent atteindre une grande ampleur au regard des conditions actuelles d'occupation de l'espace et des contraintes de lutte, et de ce fait, l'inconstructibilité y est la règle générale.
- ❖ **Zones bleues**, dans lesquelles le risque est moyen et peut être réduit par des parades réalisées de manière collective ou individuelle ; une certaine constructibilité est admise sous réserve du respect de prescriptions éventuelles d'urbanisme, de construction et de gestion.
- ❖ **Zones blanches**, dans lesquelles le risque est très faible à faible, et pour lesquelles le simple respect des règles existantes est suffisant pour assurer un niveau de sécurité satisfaisant.
- ❖ **Zones non directement exposées, mais pouvant générer un risque** ; la constructibilité peut y être interdite (classement en zone rouge) ou soumise à prescriptions (classement en zone bleue).

- 1-4 Effets du PPR (portée).

La nature et les conditions d'exécution des techniques de prévention prises pour l'application du présent règlement sont définies et mises en œuvre sous la responsabilité du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre concernés par les constructions, travaux et installations visés.

Le P.P.R. vaut servitude d'utilité publique.

A ce titre, il doit être annexé au plan local d'urbanisme (P.L.U.), conformément à l'article L.126-1 du code de l'urbanisme, ou au plan d'occupation des sols en tenant lieu.

(si le PPR porte sur un territoire couvert par une ou plusieurs ZAC, ajouter l'alinéa suivant)
De même, il doit être annexé au(x) plan(s) d'aménagement de zone (P.A.Z.) de la (des) ZAC de X (et Y...) en application de l'article R 311-10-2 du code de l'urbanisme.

Ce titre est identique pour les règlements simplifiés ou détaillés, seule la portée du document peut varier en fonction des bases réglementaires sur lesquelles il s'appuie (R III-2, PPR, loi SRU).

Ce titre peut contenir un rappel des règles existantes, notamment en matière de débroussaillage (Code Forestier), d'accès, de desserte en points d'eau normalisés...

La position dans le corps du texte de ces rappels a fait l'objet d'un débat non tranché.

Certains plaident, dans un but pédagogique, pour un renvoi de ces rappels en annexe au règlement, ou dans le rapport de présentation.

D'autres préconisent de limiter les rappels aux seules règles du code forestier (puisque l'article 40-1 de la loi du 22 juillet 1987 modifiée prévoit que les mesures envisagées dans le PPR doivent être prises conformément aux dispositions du titre II du livre III et du livre IV du code forestier), et de placer ces rappels dans le titre relatif aux mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

C'est cette option qui a été retenue dans le présent projet de règlement.

Titre 2 : Règlementation des projets nouveaux

2-1 Dispositions applicables en zone rouge

2-1-1 Sont interdits

Tous travaux, ouvrages, aménagements ou constructions de quelque nature qu'ils soient, à l'exception de ceux mentionnés à l'article 2-1-2.

2-1-2 Sont autorisés avec prescriptions

- ❖ Travaux d'entretien et de gestion courants ainsi que les travaux de mise aux normes de confort des bâtiments implantés antérieurement à l'approbation du présent plan, à condition de ne pas aggraver les risques et de ne pas augmenter le nombre de personnes exposées.
- ❖ Réparation/reconstruction de bâtiments endommagés ou détruits par un sinistre autre qu'un feu de forêt ,(en principe, pour les bâtiments détruits par un feu de forêt, la reconstruction ne doit pas être autorisée) à condition de ne pas aggraver les risques et de ne pas augmenter le nombre de personnes exposées.
- ❖ Changement de destination d'un bâtiment implanté antérieurement à l'approbation du présent plan, à condition de ne pas aggraver les risques et de ne pas augmenter le nombre de personnes exposées.
- ❖ Annexes des bâtiments d'habitation implantés antérieurement à l'approbation du présent plan (garage, abri de jardin, piscine, bassin) à condition de ne pas aggraver les risques et qu'elles ne fassent pas l'objet d'une occupation humaine permanente.

- ❖ Aménagements , travaux et ouvrages destinés à protéger la forêt ou les constructions implantées antérieurement à l'approbation du présent plan.

- ❖ Les activités agricoles et forestières

- ❖ Locaux techniques permettant d'assurer la gestion des équipements de prévention et de lutte contre les risques d'incendie de forêts

- ❖ Bâtiments à usage agricole :
 Cette rubrique a fait l'objet de positions non concordantes en fonction des départements représentés.
 - Interdiction totale.
 - Locaux techniques nécessaires à la gestion agricole, sans occupation permanente, et à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets.
 - Bâtiments nécessaires à la gestion agricole, à condition de les positionner dans un secteur de l'exploitation à aménager pour le rendre peu exposé à l'aléa.

- ❖ Infrastructures publiques :
 - Equipements publics sans occupation permanente à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets.
 - Dessertes publiques à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets :
 - Electricité/téléphone :
Interdiction de passage en fils nus pour les lignes de tension inférieure à 63 kV.
 - Routes publiques :
Dans les zones d'aggravation du risque, la création de routes publiques peut être soumise au respect de prescriptions (de conception et de gestion).
 - Voies ferrées
Possible avec prescriptions.

Tous les aménagements qui peuvent être autorisés sont soumis à des prescriptions à définir pour chacun d'eux (à finaliser).

Pour tous les bâtiments, équipements et ouvrages nouveaux, la distance de débroussaillage obligatoire et de maintien en état débroussaillé est portée à 100 mètres.

Ces travaux complémentaires sont à la charge des propriétaires des bâtiments, équipements et ouvrages ;ils doivent être réalisés à compter de l'approbation du présent PPR .

Les nouvelles réserves d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés devront impérativement être enfouies.

Les conduites d'alimentation depuis ces citernes jusqu'aux constructions seront également enfouies à une profondeur réglementaire ;aucun passage à l'air libre ne sera maintenu.

Les règles applicables aux zones non exposées mais génératrices de risques sont à préciser.

2-2 Dispositions applicables en zone bleue

Au sein de la zone bleue, on distingue trois sous zones en fonction du niveau de risque :

- Niveau 1 : Risque assez fort : secteur B1a
- Niveau 2 : Risque moyen : secteur B1
- Niveau 3 : Risque modéré : secteur B2

(certains départements souhaitent distinguer un secteur B 0 de risque assez fort à enjeux défendables, dans lequel des activités et bâtiments peuvent être réalisés sous réserve de parades collectives réalisées par des ASA DFCI-ce cas n'est pas traité dans le présent projet de règlement)

2-2-1 sont interdits :

2-2-1-1 : Dans les secteurs B1a et B1

- Les établissements recevant du public accueillant des personnes à mobilité réduite, notamment les hôpitaux, cliniques, maisons de retraite, colonies...
- Les terrains de camping et de caravanage, et habitations légères de loisir (mobil home, caravanes...), ainsi que le stationnement de caravane pratiqué isolément.
- Les installations classées avec risque d'explosion, de pollution, d'émanation de produits nocifs en cas de contact avec l'incendie.
- Les bâtiments isolés.

(NB :Le projet de décret d'application de la loi d'orientation sur la forêt prévoit qu'il appartiendra au Préfet de chaque département concerné de définir l'habitat dispersé et de le cartographier .Pour y parvenir, il sera probablement nécessaire de s'appuyer sur la distance entre bâtiments et sur la densité de bâtiments par hectare.)

Un bâtiment est reconnu comme non isolé s'il se situe à moins de 50 mètres d'au moins 2 bâtiments à usage d'habitation ou d'activité.

(autre exemple de définition :non isolé s'il se situe à proximité d'au moins 2 bâtiments à usage d'habitation ou d'activité et que la somme des distances aux 2 bâtiments est inférieure à 100 mètres)

- Les bâtiments non desservis par un réseau de points d'eau normalisés.
Sont considérés comme desservis par le réseau d'hydrants, les bâtiments situés à moins de 150 mètres d'un point d'eau normalisé.
(poteau incendie relié à un réseau normalisé ou réservoir public normalisé)
- Les bâtiments ne disposant pas d'un accès à une voie ouverte à la circulation publique par au minimum une « voie engin » possédant les caractéristiques prévues à l'article 4A de l'arrêté du 31 janvier 1986 .
(détail en annexe)
- L'installation aérienne de réserves d'hydrocarbures liquéfiés ou liquides, ainsi que le passage à l'air libre des canalisations alimentant les bâtiments.

2-2-1-2 : Dans le secteur B2

- Les bâtiments non desservis par un réseau d'hydrants normalisés.
Sont considérés comme desservis par le réseau d'hydrants, les bâtiments situés à moins de 150 mètres d'un point d'eau normalisé.
(poteau incendie relié à un réseau normalisé ou réservoir public normalisé)

- Les bâtiments ne disposant pas d'un accès à une voie ouverte à la circulation publique par au minimum une « voie engin » possédant les caractéristiques prévues à l'article 4A de l'arrêté du 31 janvier 1986 .
(détail en annexe)
- L'installation aérienne de réserves d'hydrocarbures liquéfiés ou liquides, ainsi que le passage à l'air libre des canalisations alimentant les bâtiments.

2-2-2 Sont autorisés avec prescriptions

NB :En zone bleue, tout ce qui n'est pas interdit est autorisé, sous réserve du respect de prescriptions, d'urbanisme, de construction et d'exploitation.

- Mesures d'urbanisme
Caractère obligatoire, sous le contrôle de l'autorité qui délivre le permis de construire et qui assure le contrôle de légalité.
- Mesures de construction
*Caractère obligatoire, placé sous la responsabilité du maître d'ouvrage de la construction.
Il n'existe pas de directive nationale.
Une liste de mesures préconisées peut figurer en annexe sous forme de recommandations.*
- Mesures d'exploitation
*Caractère obligatoire, sous le contrôle de l'autorité qui délivre le permis d'exploiter.
Certaines règles sont codifiées (camping, distribution électricité...)*

2-2-2-1 Dans les secteurs B1a et B1

***Travaux de prévention et protection contre les incendies**

- ❖ Aménagements , travaux et ouvrages destinés à protéger la forêt ou les constructions implantées antérieurement à l'approbation du présent plan.
- ❖ Locaux techniques permettant d'assurer la gestion des équipements de prévention et de lutte contre les risques d'incendie de forêts

***Activités agricoles et forestières**

***Opérations d'urbanisme groupée**

(ZAC , lotissement, permis de construire groupés...)

Ces opérations sont soumises aux prescriptions suivantes :

- débroussaillage et maintien en état débroussaillé de l'ensemble du territoire concerné
- maintien d'une bande inconstructible au sein de l'unité foncière, à aménager selon les prescriptions suivantes pour isoler les constructions du massif forestier :
 - au contact des espaces naturels non agricoles (forêts, bois, landes, maquis, friches) création d'une voirie périphérique à double issue équipée de points d'eau normalisés (poteaux d'incendie reliés à un réseau normalisé ou réservoir public normalisé -cf 3.2.1.) englobant l'ensemble des bâtiments projetés avec maintien d'une bande débroussaillée coté zone naturelle de 50 m de large (100 m en secteur B1a) ;
 - la voirie interne au projet sera conforme aux prescriptions suivantes : les voiries (à double issue de préférence) seront conçues avec des rayons de courbure supérieurs à 9 mètres, une pente en long

inférieure à 15 %, et une bande de roulement d'une largeur minimum de 5 m ou toute autre solution agréée par le SDIS ;
en cas d'accès en cul de sac, ceux-ci devront être de longueur inférieure à 80 m et équipés en bout d'une aire ou d'un TE de retournement réglementaires (voir schéma en annexe) ;
- densité minimale de cinq bâtiments à l'hectare sur le territoire concerné par le projet.

Les prescriptions de construction doivent en principe être rendues obligatoires (cas 1) et détaillées, ou placées en recommandation sous la responsabilité du pétitionnaire(cas 2)

Cas 1

Les bâtiments seront autorisés sous réserve de respecter également les règles de construction ci-après :

Enveloppes :

Enveloppes des bâtiments constituées par des murs en dur présentant une durée coupe feu ½ heure. Les revêtements de façades présentant un critère de réaction au feu MO, parties de façades incluses dans le volume des vérandas comprises.

Ouvertures :

L'ensemble des ouvertures occultables par des dispositifs, présentant une durée coupe feu ½ heure, les jointures assurant un maximum d'étanchéité, parties de façades incluses dans le volume des vérandas comprises.

Couvertures :

Les revêtements de couvertures devront être classés en catégorie MO, partie de couverture incluse dans le volume des vérandas comprises.

Toutefois, les revêtements de couvertures classés en catégorie M1, M2, M3 peuvent être utilisés s'ils sont établis sur un support continu en matériau incombustible ou en panneaux de bois ou tout autre matériau reconnu équivalent par le Comité d'Etude et de Classification des Matériaux et des éléments de construction par rapport au danger d'incendie .

Il ne devra pas y avoir de partie combustible à la jonction entre la toiture et les murs.

Cheminées :

Les conduits extérieurs :

- équipés dans leur partie située au-delà de leur débouché en toiture d'un clapet coupe feu ½ heure et actionnable depuis l'intérieur de la construction ;
- réalisés en matériau MO et présentant une durée coupe feu ½ heure depuis leur débouché en toiture jusqu'au niveau du clapet coupe feu et munis d'un pare-étincelles en partie supérieure.

Conduites et canalisations diverses :

Conduites et canalisations desservant l'habitation et apparentes à l'extérieur présentant une durée coupe feu de traversée ½ heure.

Gouttières et descentes d'eau :

Gouttières et descentes d'eau réalisées en matériaux M1 minimum.

Auvents :

Toitures réalisées en matériau M1 minimum et ne traversant pas les murs d'enveloppe de la construction.

Barbecues :

Les barbecues fixes constituant une dépendance d'habitation, équipés de dispositifs pare étincelles et de bac de récupération des cendres situés hors de l'aplomb de toute végétation.

Cas 2

Par ailleurs, en raison de la situation de son projet en zone de risques, il est de la responsabilité du pétitionnaire, en tant que Maître d'ouvrage, de s'assurer que ledit projet respecte toutes les mesures techniques appropriées pour se prémunir contre ce risque ou pour en limiter les conséquences.

Une liste de recommandations non exhaustives de nature à réduire le risque figure à titre indicatif en annexe.

***Opération d'urbanisme non groupée**

(tous les cas non visés à l'alinéa précédent)

-Les bâtiments nouveaux (maison individuelle, immeuble collectif, autres bâtiments) doivent être situés à moins de 50 m de deux bâtiments à usage d'habitation ou d'activité existants.

(ou autre définition excluant l'habitat diffus....situés à proximité d'au moins deux bâtiments;

la somme des distances par rapport aux deux bâtiments existants ne doit pas dépasser 100 m)

-Travaux d'entretien et de gestion courants ainsi que les travaux de mise aux normes de confort des bâtiments isolés implantés antérieurement à l'approbation du présent plan, à condition de ne pas aggraver les risques et de ne pas augmenter le nombre de personnes exposées.

-Les changements de destination d'un bâtiment isolé implanté antérieurement à l'approbation du présent plan, à condition de ne pas aggraver les risques et de ne pas augmenter le nombre de personnes exposées.

-Les annexes des bâtiments d'habitation isolés implantés antérieurement à l'approbation du présent plan (garage, abri de jardin, piscine, bassin) à condition de ne pas aggraver les risques et qu'elles ne fassent pas l'objet d'une occupation humaine permanente

Les prescriptions de construction doivent en principe être rendues obligatoires(cas 1) et détaillées, ou placées en recommandation sous la responsabilité du pétitionnaire(cas 2)

Cas 1 ou Cas 2 idem ci-dessus

***Autres utilisations et occupations du sol**

Infrastructures publiques :

- Equipements publics sans occupation permanente à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets.
- Dessertes publiques à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets :
 - Electricité/téléphone :
Interdiction de passage en fils nus pour les lignes de tension inférieure à 63 kV dans le secteur B1a.
 - Routes publiques :

Dans les zones d'aggravation du risque, la création de routes publiques peut être soumise au respect de prescriptions (de conception et de gestion).

- Voies ferrées
Possible avec prescriptions.

2-2-2-2 : Dans le secteur B2

-Les bâtiments nouveaux sous réserve d'être desservis par un réseau d'hydrants normalisés, et sous réserve de disposer d'un accès à une voie ouverte à la circulation publique par au minimum une « voie engin » possédant les caractéristiques prévues à l'article 4A de l'arrêté du 31 janvier 1986 .

-Les travaux d'entretien et de gestion courants ainsi que les travaux de mise aux normes de confort des bâtiments isolés implantés antérieurement à l'approbation du présent plan, à condition de ne pas aggraver les risques et de ne pas augmenter le nombre de personnes exposées.

-Les changements de destination d'un bâtiment isolé implanté antérieurement à l'approbation du présent plan, à condition de ne pas aggraver les risques et de ne pas augmenter le nombre de personnes exposées.

-Les annexes des bâtiments d'habitation isolés implantés antérieurement à l'approbation du présent plan (garage, abri de jardin, piscine, bassin) à condition de ne pas aggraver les risques et qu'elles ne fassent pas l'objet d'une occupation humaine permanente

Par ailleurs, en raison de la situation de son projet en zone de risques, il est de la responsabilité du pétitionnaire, en tant que Maître d'ouvrage, de s'assurer que ledit projet respecte toutes les mesures techniques appropriées pour se prémunir contre ce risque ou pour en limiter les conséquences.

Une liste de recommandations non exhaustives de nature à réduire le risque figure à titre indicatif en annexe.

(en raison du niveau de risque modéré, il a été privilégié la formule de recommandation pour les prescriptions d'urbanisme)

-Les Infrastructures publiques :

- Equipements publics sans occupation permanente à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets.
- Dessertes publiques à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets :
 - Electricité/téléphone :
 - Routes publiques :
Dans les zones d'aggravation du risque, la création de routes publiques peut être soumise au respect de prescriptions (de conception et de gestion).
 - Voies ferrées
Possible avec prescriptions.

-Aménagements , travaux et ouvrages destinés à protéger la forêt ou les constructions implantées antérieurement à l'approbation du présent plan.

-Locaux techniques permettant d'assurer la gestion des équipements de prévention et de lutte contre les risques d'incendie de forêts

-Les établissements recevant du public accueillant des personnes à mobilité réduite, notamment les hôpitaux, cliniques, maisons de retraite, colonies , sous réserve de disposer d'au moins 2 accès à une voie publique par au minimum deux « voies engin » possédant les caractéristiques prévues à l'article 4A de l'arrêté du 31 janvier 1986 .

-Les terrains de camping et de caravanage, et habitations légères de loisir (mobil home, caravanes, sous réserve du débroussaillage et du maintien en état débroussaillé de la totalité de l'emprise foncière du terrain ainsi que d'une bande périmétrale de 50 m de largeur au minimum, et sous réserve de disposer d'au moins 2 accès à une voie publique par au minimum deux « voies engin » possédant les caractéristiques prévues à l'article 4A de l'arrêté du 31 janvier 1986 .

-Les installations classées avec risque d'explosion, de pollution, d'émanation de produits nocifs en cas de contact avec l'incendie, sous réserve de mettre en œuvre les dispositions déterminées par les services d'incendie et de secours en application du décret 77-1133 du 21 septembre 1997 .

Titre 3 : Mesures de prévention et de sauvegarde

Ces mesures peuvent être rendues obligatoires, dans un délai maximal de 5 ans, et être mises à la charge de particulier ou des communes.

Dans certains cas, elles peuvent ne constituer qu'une recommandation.

Leur objectif est d'améliorer le niveau de sécurité des citoyens et de faciliter l'intervention des secours. Elles portent le plus souvent, sur les accès, la desserte en eau, le débroussaillage et la distance des arbres par rapport aux bâtiments.

Elles peuvent aussi viser des mesures d'information du public.

Pour lutter efficacement contre les incendies de forêt et en limiter les conséquences, il est nécessaire, à proximité des constructions, de réduire la biomasse facilement combustible par débroussaillage, de disposer d'eau en quantité et pression suffisantes et de pouvoir circuler sans risque sur les voies d'accès.

3.1. Rappel des obligations de sécurité dans toutes les zones :

* Débroussaillage à la charge des propriétaires

L'article L 322-3 du code forestier stipule que " le débroussaillage et le maintien en état débroussaillé sont obligatoires sur les zones situées à moins de 200 mètres de terrains en nature de bois, forêts, landes, maquis, garrigue, plantations ou reboisements et répondant à l'une des situations suivantes :

a) Abords des constructions, chantiers, travaux et installations de toute nature, sur une profondeur de cinquante mètres, ainsi que des voies privées y donnant accès, sur une profondeur de dix mètres de part et d'autre de la voie ;

b) Terrains situés dans les zones urbaines délimitées par un plan d'occupation des sols rendu public ou approuvé, ou un document d'urbanisme en tenant lieu ;

c) Terrains servant d'assiette à l'une des opérations régies par les articles L. 311-1, L. 315-1, et L. 322-2 du code de l'urbanisme (zones d'aménagement concertées, lotissements, associations foncières urbaines) ;

d) Terrains mentionnés à l'article L. 443-1 du code de l'urbanisme (camping et stationnement de caravanes).

e) Terrains situés dans les zones délimitées et spécifiquement définies comme devant être débroussaillées et maintenues en état débroussaillé en vue de la prévention des constructions, par un plan de prévention des risques naturels prévisibles établi en application des articles L. 562-1 à L. 562-7 du code de l'environnement. Les travaux sont à la charge des propriétaires des constructions pour la protection desquelles la servitude est établie, ou de leurs ayants droits ;

Dans les cas mentionnés au a) ci-dessus, les travaux sont à la charge du propriétaire des constructions, chantiers, travaux et installations et de ses ayants droits.

Dans les cas mentionnés aux b), c) et d) ci-dessus, les travaux sont à la charge du propriétaire du terrain et de ses ayants droits. "

* Débroussaillage le long des routes ouvertes à la circulation publique :

Il est rappelé que le débroussaillage le long des voies ouvertes à la circulation publique est rendu obligatoire par l'article L.322-7 du code forestier :

"L'Etat et les collectivités territoriales propriétaires de voies ouvertes à la circulation publique, ainsi que les sociétés concessionnaires des autoroutes, procèdent à leurs frais au débroussaillage et au maintien en état débroussaillé, sur une bande dont la largeur est fixée par le représentant de l'Etat dans le département et qui ne peut excéder 20 mètres de part et d'autre de ces voies, dans la traversée desdits bois et massifs forestiers et dans les zones situées à moins de 200 mètres de terrains en nature de bois, forêts, landes, maquis, garrigues, plantations ou reboisements. (...).

Les dispositions (...) qui précèdent sont applicables aux voies privées ouvertes à la circulation du public".

3.2. Mesures obligatoires incombant à la commune

3.2.1. Points d'eau normalisés

Définition préalable :

un point d'eau normalisé est constitué par un poteau d'incendie relié à un réseau normalisé (débit : 60 m³/h sous une pression de 1 bar) ou un réservoir public normalisé (réservoir public d'au moins 120 m³ doté d'une prise d'eau normalisée, accessible aux véhicules de lutte contre l'incendie et capable de fournir un volume de 60 m³ pendant deux heures).

Mesure obligatoire :

mise en place de points d'eau normalisés de façon à ce qu'aucun bâtiment ne soit situé à une distance supérieure à 150 mètres d'un point d'eau normalisé. Les travaux devront être réalisés dans les meilleurs délais selon les deux niveaux d'urgence suivants :

- 1^{ère} urgence : délai maximal de deux ans à compter de l'approbation du présent P.P.R.
- 2^{ème} urgence : délai maximal de cinq ans à compter de l'approbation du présent P.P.R.

Quartier	nombre de points d'eau normalisés à réaliser en première urgence	Nombre de points d'eau normalisés à réaliser en deuxième urgence
Total	25	11

3.2.2. Aménagement de voirie

La commune prendra toute disposition de nature à améliorer l'accès et le passage des secours ainsi que l'éventuelle évacuation simultanée des personnes menacées.

Définir les voiries visées, le type de travaux, et le délai de réalisation des travaux (2 ans ou 5 ans)

3.2.3. Création et entretien de zones débroussaillées :

bande de 50 m de part et d'autre des voies à améliorer en application du 3.2.2, et si nécessaire bande de 100 m coté espace naturel des voies périmétrales.

Titre 4 : Mesures applicables aux biens et activités existants

Le coût de ces mesures ne peut excéder 10% de la valeur vénale du bien existant.

Cette limitation, et la difficulté d'intervenir sur du bâti existant, souvent individuel, ne permet la plupart du temps que de prescrire l'enfouissement des réserves d'hydrocarbures liquides ou une amélioration de la voirie.

Les prescriptions sur les activités existantes n'ont à ce jour pas fait l'objet d'étude approfondie. Ce sujet préoccupe pourtant certains départements (gestion de certains dépôts d'ordures, activités agricoles génératrices de dépôts de feu au contact des massifs).

4.1 mesures obligatoires de portée immédiate

Dans les zones rouges et dans les zones bleues B1a la distance de débroussaillage et de maintien en état débroussaillé aux abords des constructions, chantiers, travaux et installations de toute nature est portée de 50 à 100 m.

Ces travaux complémentaires, qui sont à la charge des propriétaires des constructions, chantiers, travaux et installations, doivent être réalisés à compter de l'approbation du présent PPR.

4.2. mesures obligatoires dans les zones rouges et bleues

Les propriétaires, exploitants ou utilisateurs de citernes ou réserves aériennes d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés procéderont à l'enfouissement ou à la suppression de celles-ci.

Les conduites d'alimentation depuis ces citernes jusqu'aux constructions seront enfouies à une profondeur réglementaire - aucun passage à l'air libre ne sera maintenu.

Toutefois, si l'enfouissement des citernes et des canalisations s'avère techniquement difficilement réalisable (sols rocheux...), celles-ci devront être ceinturées par un mur de protection en maçonnerie pleine de 0,1 mètre d'épaisseur au moins (ou tout autre élément incombustible présentant une résistance mécanique équivalente), et dont la partie supérieure dépasse de 0,5 mètre au moins celles des orifices des soupapes de sécurité ; le périmètre situé autour des ouvrages devra être exempt de tout matériaux ou végétaux combustibles sur une distance de 5 mètres mesurée à partir du mur de protection.

L'ensemble de ces travaux est à la charge des propriétaires, exploitants ou utilisateurs et doivent être réalisés dans les meilleurs délais à compter de la date d'approbation du présent P.P.R., et sans excéder les cinq ans prévus à l'article 5 du décret n°95-1089 du 5 octobre 1995

ANNEXE

Liste de recommandations de nature à réduire le risque

- Règles de construction :

Enveloppes :

Enveloppes des bâtiments constituées par des murs en dur présentant une durée coupe feu ½ heure. Les revêtements de façades présentant un critère de réaction au feu MO, parties de façades incluses dans le volume des vérandas comprises.

Ouvertures :

L'ensemble des ouvertures occultable par des dispositifs, présentant une durée coupe feu ½ heure, les jointures assurant un maximum d'étanchéité, parties de façades incluses dans le volume des vérandas comprises.

Couvertures :

Les revêtements de couvertures devront être classés en catégorie MO, partie de couverture incluse dans le volume des vérandas comprises.

Toutefois, les revêtements de couvertures classés en catégorie M1, M2, M3 peuvent être utilisés s'ils sont établis sur un support continu en matériau incombustible ou en panneaux de bois ou tout autre matériau reconnu équivalent par le Comité d'Etude et de Classification des Matériaux et des éléments de construction par rapport au danger d'incendie .

Il ne devra pas y avoir de partie combustible à la jonction entre la toiture et les murs.

Cheminées :

Les conduits extérieurs :

- équipés dans leur partie située au-delà de leur débouché en toiture d'un clapet coupe feu ½ heure et actionnable depuis l'intérieur de la construction ;
- réalisés en matériau MO et présentant une durée coupe feu ½ heure depuis leur débouché en toiture jusqu'au niveau du clapet coupe feu et munis d'un pare-étincelles en partie supérieure.

Conduites et canalisations diverses :

Conduites et canalisations desservant l'habitation et apparentes à l'extérieur présentant une durée coupe feu de traversée ½ heure.

Gouttières et descentes d'eau :

Gouttières et descentes d'eau réalisées en matériaux M1 minimum.

Auvents :

Toitures réalisées en matériau M1 minimum et ne traversant pas les murs d'enveloppe de la construction.

Barbecues :

Les barbecues fixes constituant une dépendance d'habitation, équipés de dispositifs pare étincelles et de bac de récupération des cendres situés hors de l'aplomb de toute végétation.

- Prévention des risques d'incendie

Placer les réserves de combustibles solides et les tas de bois à plus de 10 m des bâtiments.

Elargir les voies privées desservant les bâtiments pour permettre en tout point le croisement de 2 véhicules sans ralentissement, ni manœuvre.

Equiper les habitations disposant d'une réserve d'eau (piscine, bassin, réservoir) d'une motopompe de 15 m³/h de débit, actionnée par un moteur thermique, susceptible d'alimenter une lance de 40/14 avec l'aide de trois tuyaux de 45 mm de diamètre et de 20 m de longueur.

Remiser cet équipement dans un coffre ou une construction incombustible.

Curer régulièrement les gouttières des aiguilles et feuillages s'y trouvant pour prévenir les risques de mise à feu des toitures.

Elaguer et tailler en permanence les arbres de telle sorte que les premiers feuillages soient maintenus à une distance minimale de 3 mètres de tout point des constructions.

Ne pas planter à proximité du bâtiment ou de manière continue des espèces très combustibles (mimosas, cyprès,...)

Annexes 2 : Courrier adressé par l'ingénieur en chef d'Agronomie à Monsieur le sous

PRÉFECTURE DE LA ZONE DE DEFENSE SUD

DÉLÉGATION A LA PROTECTION
DE LA FORÊT MÉDITERRANÉENNE

66 A, rue Saint-Sébastien - 13006 MARSEILLE

Dossier suivi par Bernard FOUCAULT

MARSEILLE, le 1 mars 2000

L'Ingénieur en Chef d' Agronomie
à
Monsieur le Sous – Préfet chargé de mission

OBJET : Tournée DIRCAB 2000: sous dossier PPRif
Ref : Note de service DPPR / DERF du 2 juillet 1999

La présente note est destinée à vous permettre de faire un point utile, avec les DIRCAB de la Zone de Défense Sud sur les travaux en cours dans les départements, se rapportant aux PPRif.

Rappel : (note de service DPPR / DERF du 2 juillet 1999)

1°) - Les études d'atlas départementaux au 1 / 100 000^{ème} sont financées par le CFM

2°) - Les études d'aléa au 1 / 25 000^{ème} étendues (le cas échéant) au 1 / 10 000^{ème}, directement liées à la réalisation des PPRif, la réalisation des dossiers de PPRif, la procédure d'approbation, sont prises en charge par les DIREN.

1°) – L'élaboration des atlas départementaux au 1 / 100 000^{ème}

Les **BOUCHES du RHONE** sont le seul à disposer d'une carte départementale d'aléa, (réalisée au moyen du modèle MTDA / DDAF 13 en décembre 1997).

Cette carte, qui a très fortement inspiré la doctrine administrative naissante de la DPPR sur les PPRif, a conduit néanmoins à un blocage total de la procédure dans le 13, en raison de son caractère dissuasif, mettant en évidence un très sérieux problème de compatibilité de politiques publiques (sécurité / développement).

Cette carte a été reprise par la DDAF et MTDA, en distinguant " risque subi ", " risque induit ", et devrait être disponible en mars 2000. (NB : en profiter pour la demander au DIRCAB 13).

Des travaux de même niveau ont été engagés dans le **GARD** (crédit DIREN 1999), dont l'expertise par la DPFM sera conduite le 9 mars 2000 in situ.

Les atlas du **VAR** (crédit CFM 1999 consommé partiellement / DDAF 83 / MTDA), du **VAUCLUSE** (crédit DIREN 1999 / DDAF 84 / interne), seront disponibles d'ici à la fin 2000- début 2001.

Des travaux de même niveau ont été conduits en interne en 1999 dans les **HAUTES – ALPES** (DDAF).

Téléphone du Chargé de Mission : 04.91.15.68.36 - Télécopie : 04.91.15.66.96
adresse mel : dpfmbf@promethee .com

1

Sur l'exercice 2000, les demandes de crédits pour la réalisation d'atlas effectuées par les **ALPES de HAUTE PROVENCE** (reprise de la demande effectuée pour 1999 : 220 000F), les **ALPES - MARITIMES** (300 000F), le **VAR** (complément de la dotation 1999 :150 000F), la **HAUTE – CORSE** (200 000F), les **PYRENEES ORIENTALES** (200 000F), ont été effectivement retenues au titre de la programmation CFM 2000. La **CORSE du SUD** , l'**AUDE** envisagent de réaliser ce document en interne à partir de crédits disponibles.

Commentaires :

I - Les principaux départements de la zone de défense sud concernés par la mise en œuvre des PPRif ont effectivement répondu aux sollicitations de la DPFM, et aux instructions interministérielles de la note de service du 2 juillet 1999. (*NB : Sans préjuger de l'existence, (ou non), de tels travaux , les départements de la LOZERE, de la DROME, de l'ARDECHE , peu concernés par les PPRif ne semblent pas avoir retenu la réalisation d'atlas départementaux des zones exposées à l'aléa " feux de forêts "*).

On peut d'ores et déjà considérer que tous les départements de la zone de défense sud concernés par les PPRif seront en mesure d'afficher l'aléa " feux de forêts " entre 2000 –2002.

II - Trois méthodologies sont utilisées pour obtenir cet affichage :

- à **" dire d'experts "** (cartographie résultant notamment du croisement des couches de données " habitat " (source (DDE), et " feux de forêts " (source PROMETHEE + fichiers historiques s'ils existent) ;
(*option proposée, au moins dans un premier temps, par le Vaucluse, les Hautes – Alpes, les Alpes – Maritimes, l' Hérault, les Pyrénées Orientales*).

(*NB : L'affichage des zones d'aléa induit et d'aléa subi, lequel servira tôt ou tard de référence à l'éligibilité des actions du CFM, devra très vraisemblablement être précisée ultérieurement, au moins dans les départements ou cette distinction n'est pas évidente.*)

- **modèle de propagation des feux** (MTDA) : opérations engagées dans ce sens dans les Bouches du Rhône, le Var, le Gard,

- **modèle d'analyse indiciaire** (une seule application connue faite par le sd ONF de l' Aude, sur le massif de la Clape).

2°) – Les PPRif.

Le **VAUCLUSE**, est à ce jour le seul département de la zone de défense sud qui ait pu mettre en œuvre et développer une politique globale de cartographie réglementaire du risque feux de forêts, opposable aux documents d'urbanisme . Cette politique est appliquée depuis 1997 dans **toutes les communes** reconnues exposées à l'aléa " feux de forêts ", en référence à la loi 87 – 565 du 22 juillet 1987, lors de la révision de leurs POS.

L'expérience du Vaucluse, constitue la référence nationale permettant aux préfets des départements concernés par la loi 95 – 101 du 2

2

Téléphone du Chargé de Mission : 04.91.15.68.36 - Télécopie : 04.91.15.66.96
adresse mel : dpfmbf@promethee .com

février 1995, de définir une stratégie , (et des moyens), leur permettant de mettre en œuvre et de développer la cartographie réglementaire du risque “ feux de forêts ”.

Les fondements juridiques de la procédure PIG utilisée depuis 1970 sont peu adaptés à la problématique “ feux de forêts ”. Les études d'aléa réalisées par le Vaucluse, à “ dire d'experts ”, résistent de plus en plus mal au contentieux administratif (défaut de justification).

Préfigurant l'entrée des départements dans les PPRif, au plus près de la lecture initiale de la loi 95 – 101 du 2 février 1995. (*traduction réglementaire d'une carte d'aléa*), le Vaucluse basculera dès 2000 – 2001 sur la logique de textes de 1995 (les PPRif), dès qu'il disposera d'un atlas départemental des zones exposées, en consolidant l'action publique engagée par substitution d'études d'aléa indiciaires aux études d'aléa réalisées actuellement à dire d'experts. (*NB :pilote de Gordes*).

Les ALPES - MARITIMES, disposent d'un pied de cuve d'études indiciaires de l'aléa conséquent, financé antérieurement par le CFM puis par la DIREN (29 environ sur les 73 communes des schémas directeurs d'urbanisme justifiant de la procédure PPRif, pour plus de 3 MF). Ce département maîtrise l'ingénierie permettant de traiter le cas de commune soumises à une forte pression d'urbanisation, en situation de risque élevé.

L'approbation attendue du PPRif d' Auribeau / Siagne en mars 2000, est de nature à permettre le développement de la procédure dans ce département:

- d'abord sur le territoire des communes de l' Esterel / Tanneron où la procédure de l'article 40.2 a été effectivement engagée par le Préfet en juillet 1999,
- puis courant 2000, sur le territoire d'autres communes (massif de la Sine : **Vence** notamment). Les crédits demandés en 2000 à la DIREN sont destinés à la réalisation des dossiers et à l'engagement des procédures d'approbation.

Les autres départements de la zone de défense sud, ne maîtrisent ni les études d'aléa, ni l'ingénierie nécessaire à l'élaboration de PPRif, ni la procédure d'approbation. Ils ne sont pas encore en mesure de mettre en œuvre et de développer une politique volontariste et structurée de PPRif.

Les demandes de crédits d'études directement liées aux PPRif, présentées par les départements et remontées par les DIREN à la DPPR (*en référence à la note de service DERF / DPPR du 2 juillet 1999*), ne sont pas connues de la DPFM.

Si dans les Hautes Alpes, les Alpes de Haute Provence, la Drôme, la Lozère, la question des PPRif ne mérite pas actuellement d'approfondissements, ce dossier justifie :

1°) – d'être clairement abordé dans les Bouches du Rhône, le Var, le Gard, l'Hérault, les Pyrénées Orientales, l' Aude, les départements Corses,

2°) - d'être évalué en Ardèche (PPRif de PRIVAS, difficilement transposable dans les départements littoraux).

Signé B FOUCAULT

ETUDES REALISEES en 1999
CREDITS D'ÉTUDE demandés pour 2000
CREDITS EFFECTIVEMENT INSCRITS en 2000

	Programmation 1999 (CFM ou DIREN)	Exécution 1999	Programmation 2000 CFM (atlas départementaux)	Programmation 2000 DIREN (études PPRiF/ procédures)
PACA			670 000	1 545 / 1 650 000
04	0	0	220 000	0
05	0	0	0	0
06	256 000 CFM+ 400 000 DIREN	256 000 CFM+ 400 000 DIREN	300 000	385/490 000
13	250 000 CFM	250 000 CFM	0	0
83	250 000 CFM	100 000 CFM	150 000	600 000
84	170 000 DIREN 180 000 CFM	170 000 DIREN		560 000
CORSE			250 000	50 000
2a	150 000 CP 96 200 000 CFM	150 000 CP 96 < 200 000 CFM	0	0
2b	300 000 CFM 98	300 000 CFM 98	250 000	50 000
LR			200 000	600 000
11				200 000
30	230 000CFM 170 000DIREN	230 000CFM 170 000 DIREN	0	400 000
34	250 000 DIREN	250 000 DIREN	0	0
48	0	0	0	0
66	0	0	200 000	0
RA			0	0
07	0	0	0	0
26	0	0	0	0
NB : crédits délégués aux départements pour 2000 (info DPPR du 3 mars 2000)			Conforme	620 000 *

* 06 : 215 000
84 : 205 000
30 : 200000

**Annexes 3 : Certificat de Calibration des photographies
aériennes de Nice, année 1990**

Nice

3)

CAMERA CALIBRATION CERTIFICATE

CAMERA TYPE : RC10
LENS TYPE : 21 NAG II
LENS NO. : 7113

CALIBRATION DATE : 17.04.89

WILD LEITZ LTD

Wild Leitz Ltd
CH-9435 Heerbrugg
Calibration Department
Supervisor: 

 **WILD LEITZ**

CAMERA: RC10 LENS: 21 NAG II NO.: 7113 CALIBRATION DATE: 17.04.89

APERTURE : F / 4.0
FILTER ON GONIOMETER : 450 NM
FILTER ON CAMERA : --
PRINCIPAL DISTANCE FOR FOCUSING DISTANCE 900 M : 213.26 MM

focal

RADIAL DISTORTION (MICROMETERS)

REFERRED TO PRINCIPAL POINT OF SYMMETRY (PPS)
(POSITIVE VALUES DENOTE IMAGE DISPLACEMENT AWAY FROM CENTER)

RADIUS MM	SEMI - DIAGONALS				MEAN
	1	3	2	4	
10	0.7	-0.2	0.5	-0.4	0.1
20	0.4	0.0	0.5	0.1	0.2
30	0.4	0.7	0.9	0.6	0.6
40	0.6	1.3	0.9	1.0	0.9
50	0.9	0.5	1.3	0.5	0.8
60	-0.7	0.3	0.8	0.0	0.1
70	-1.5	-0.3	-0.9	-0.6	-0.8
80	-2.1	-0.6	-1.2	-1.1	-1.2
90	-1.0	-0.9	-1.1	-1.4	-1.1
100	-1.2	-1.1	-0.2	-1.2	-0.9
110	0.2	-0.5	1.1	0.2	0.2
120	0.5	0.0	0.8	0.8	0.5
130	0.5	0.4	1.5	1.8	1.0
140	-0.1	0.3	1.0	1.7	0.7
148	-1.5	-2.1	-0.6	-0.1	-1.0

PHOTOGRAPHIC RESOLUTION (LINE PAIRS PER MILLIMETER)

INTERNATIONAL 3-LINE TEST-CHART, CONTRAST (LOG) : 2.0
APERTURE : 4.0
FILTER : 450 NM
FILM : AGFAPAN 25 PROFESSIONAL (ASA SPEED: 25)
DEVELOPER : AGFA-GEVAERT STUDIOAL LIQUID 1:15 6 MIN

ANGLE: (DEGREES)	0	5	10	15	20	25	30	35
RAD.	85	75	74	82	45	34	33	39
TANG.	85	75	65	79	59	49	45	36

AWAR (AREA WEIGHTED AVERAGE RESOLUTION) IN LP/MM : 52

16 WILD 311

CAMERA: RC10 LENS: 21 NAG II NO.: 7113 CALIBRATION DATE: 17.04.85

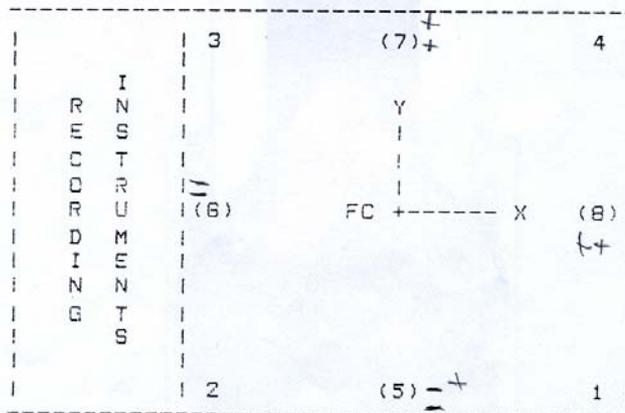
PRINCIPAL POINT OF AUTOCOLLIMATION (PPA) AND
PRINCIPAL POINT OF SYMMETRY (PPS)

REFERRED TO FC, SEE DIAGRAM

	X (MM)	Y (MM)
PPA	0.002	-0.006
S	-0.011	-0.006

FIDUCIAL MARKS, REFERRED TO FC

	X (MM)	Y (MM)		X (MM)	Y (MM)
1	105.994	-105.997	5	-0.004	-110.001
2	-106.000	-106.003	6	-110.004	-0.001
3	-106.001	106.003	7	0.001	110.002
4	106.000	106.003	8	109.995	0.003



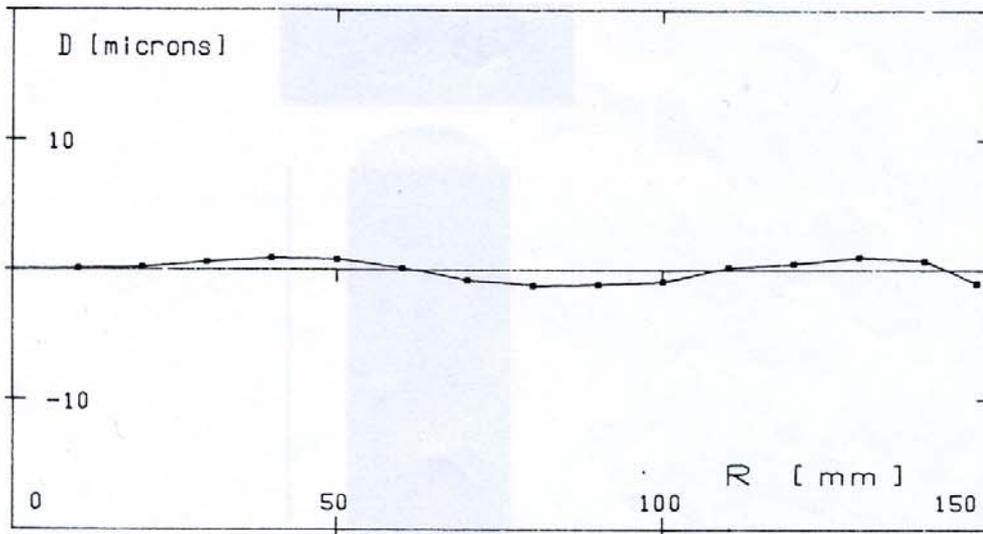
AS SEEN ON FOCAL PLANE FRAME

46 WILD 311

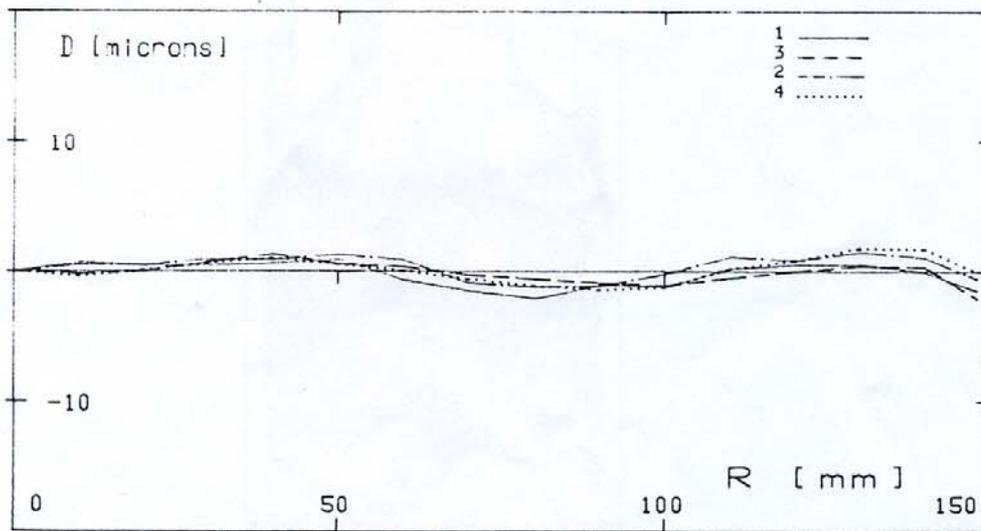
RC10 21 NAG II NO. 7113

17.04.89

APERTURE : F / 4.0
FILTER ON GONIOMETER : 450 NM
FILTER ON CAMERA : --
P.D. (900 m) : 213.26 MM



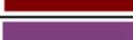
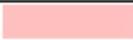
MEAN RADIAL DISTORTION CURVE



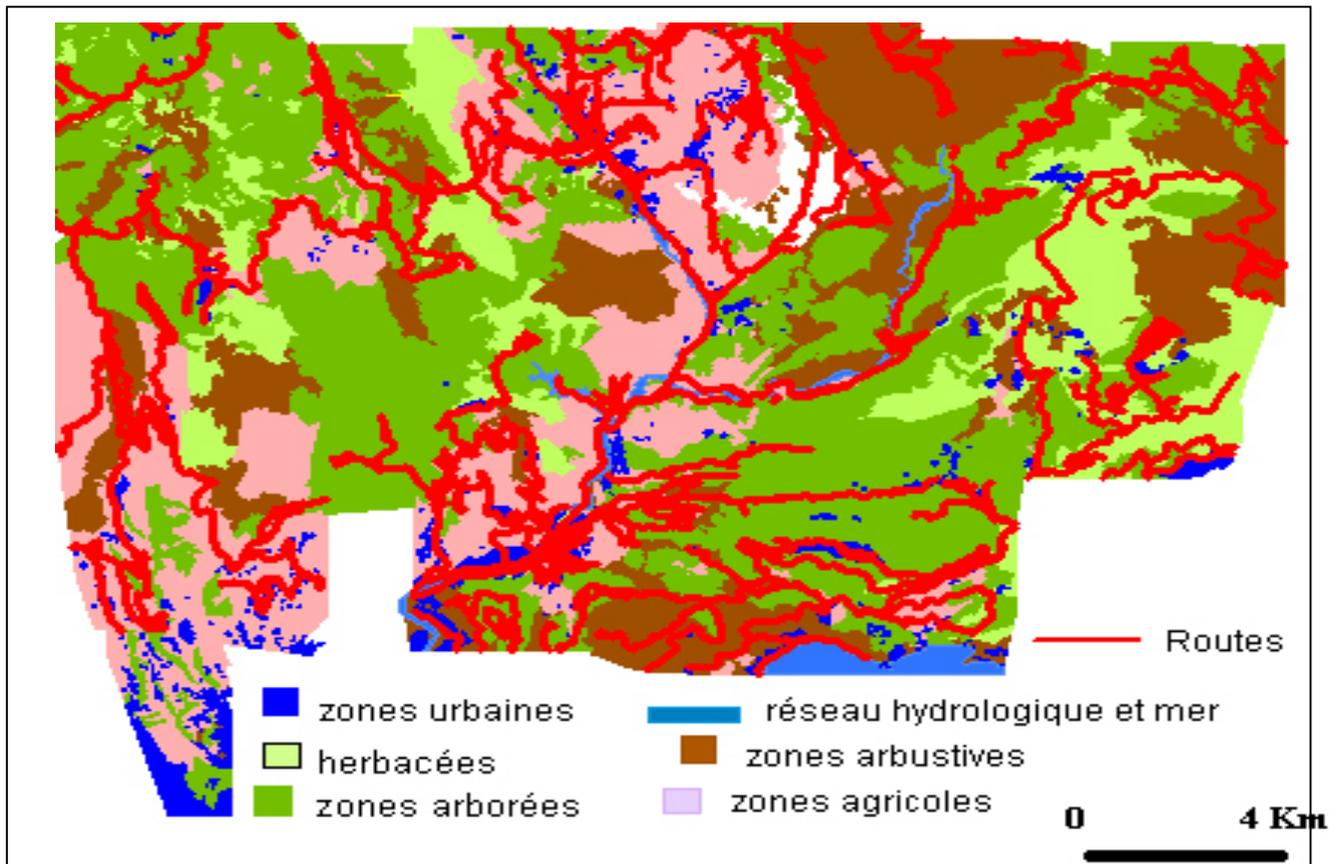
RADIAL DISTORTION FOR SEMI-DIAGONALS REFERRED TO PPS

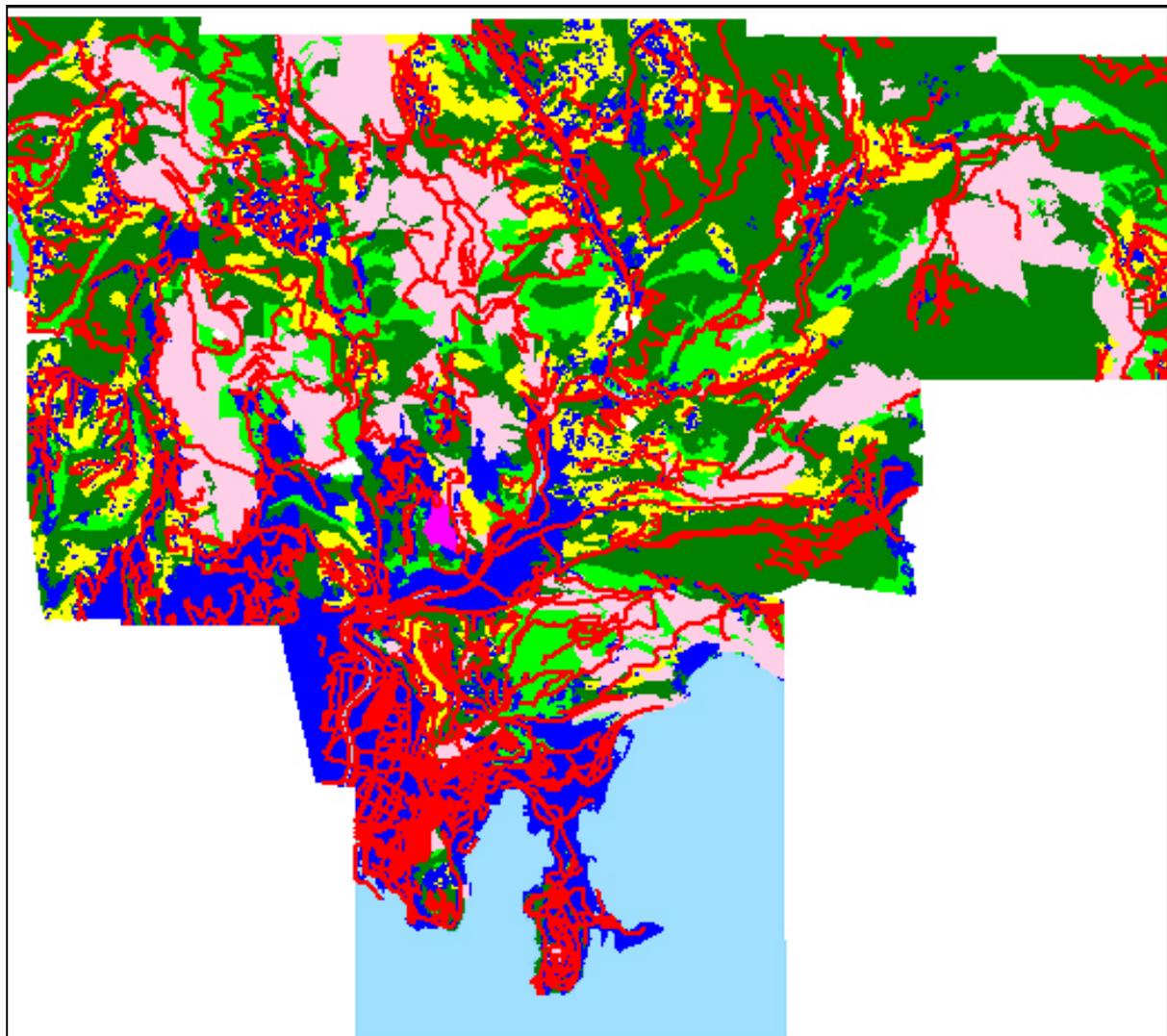
WILD 311

Annexe 4 : Légende de Corine Land Cover

NATURE	Count	Intérieur
*****	5	
!! inconnus !!	1	
Aéroports	2	
Chantiers	5	
Cours et voies d'eau	1	
Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	18	
Décharges	1	
Equipements sportifs et de loisirs	70	
espaces verts urbains	10	
extraction de matériaux	26	
Forêts de conifères	316	
Forêts de feuillus	72	
Forêts et végétation arbustive en mutation	488	
Forêts mélangés	112	
Glaciers et neiges éternelles	2	
Lagunes littorales	1	
Landes et broussailles	181	
Marais intérieurs	1	
Oliveraies	16	
Pelouses et pâturages naturels	410	
Plages dunes et sables	22	
Plans d'eau	21	
reseaux routier et ferroviaire et espaces associés	18	
Roches nues	407	
Systèmes cultureux et parcellaires complexes	75	
Terres arables hors périmètres d'irrigation'	66	
Territoire agroforestiers	7	
Territoires principalement occupés par l'agriculture avec présence	158	
tissu urbain continu	83	
Tissu urbain discontinu	225	
Végétation Sclérophylle	59	
Végétations clairessemées	105	
Vergers et petits fruits	32	
Vignobles	5	
Zones incendiées	6	
Zones industrielles ou commerciales	53	
Zones portuaires	10	

Annexes 5 : Cartographie de l'évolution de l'occupation du sol des mosaïques 1955, 1990





Annexes 6 : liste des communes utilisées pour la réalisation de l'A.F.C.

	Référence	Nb	ha	alt
Bendejun	A	17	1837,82	260
Berre Des Alpes	B	38	91,55	600
Blausasc	C	22	26	300
Cantaron	D	23	193,54	100
Chateauneuf De Contes	E	18	73,85	623
Coaraze	F	49	2971,04	605
Contes	G	78	124,68	255
Drap	H	10	9,2	105
Duranus	I	4	76,03	1504
Escarene L	J	43	194,52	730
Falicon	K	57	532,31	414
Luceram	L	91	1577,47	1500
Nice	M	279	552,01	10
Peille	N	74	1094,12	700
Peillon	O	27	51,1	635
Saint Andre	P	23	15,1	850
Touet De L Escarene	Q	18	183,32	340
Tourrette Levens	R	55	407,44	390
Trinite La	S	56	718,53	1635
Turbie La	T	22	41,69	1000

Nb : Nombre de feux

Ha : Surface brûlée en hectare

Alti : altitude