



Institut national  
agronomique  
Paris-Grignon  
**INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE  
PARIS-GRIGNON**



**INSTITUT NATIONAL DE LA  
RECHERCHE AGRONOMIQUE**

# MEMOIRE

Présenté par **Marie Bourgeois**

DAA / MASTER : AGER (Agronomie – Environnement)

**NimetPaslefeu® !**  
**Un outil d'aide à la décision pour la prévention des incendies  
dans le milieu périurbain nîmois**

**Pour l'obtention du DIPLÔME D'INGENIEUR AGRONOME  
de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon**

Maître de stage : **Michel Etienne**  
**Unité Ecodéveloppement, INRA Avignon**

Enseignant-Responsable du stage : **Joël Michelin**

Stage du 03/03 au 03/09/2006

Soutenu le 21 septembre 2006

## *Remerciements*

Ce stage à l'Unité Ecodéveloppement de l'INRA d'Avignon a constitué une expérience très enrichissante, aussi bien sur le plan professionnel que sur le plan humain, et je tiens à en remercier l'ensemble des personnes que j'ai côtoyé au cours de ces six mois. Je pense en particulier :

- à Patricia Detry-Fouque, de la DDAF du Gard et à Véronique Mure, de la Communauté d'Agglomération de Nîmes Métropole, pour leur aide précieuse dans la prise de connaissance du terrain, de la problématique des incendies de forêts et dans l'organisation des réunions effectuées à Nîmes Métropole,
- à l'ensemble des personnes ayant participé aux réunions organisées à Nîmes Métropole, pour les précieuses informations qu'elles ont apportées, leur disponibilité, et leur enthousiasme manifeste pour la « co-construction » du modèle d'accompagnement,
- aux gestionnaires, techniciens et pompiers contactés aux cours de mes entretiens, qui ont fait preuve de beaucoup de patience face à mes questions sur les « activités utilisatrices du territoire », et l'organisation de la lutte contre les incendies,
- aux membres de l'Unité Ecodéveloppement, pour leur accueil, leur ouverture d'esprit et leur aide dans l'évolution de ma réflexion sur ce projet. Merci à Monica, Dany, Marie, pour leur foisonnement d'idées et leur jovialité,
- et enfin, merci à mon maître de stage Michel Etienne, chercheur écologue à l'Unité Ecodéveloppement, qui m'a guidé tout au long de ces six mois de stage, en m'incitant à me poser les bonnes questions pour mener à bien cette démarche passionnante mais délicate qu'est la modélisation d'accompagnement.

## SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Contexte, problématique et démarche</b> .....	<b>6</b>
1.1 <i>Présentation du territoire d'étude</i> .....	6
1.1.1 Un territoire marqué par l'étalement urbain.....	6
1.1.2 Les transformations des espaces agricoles et naturels .....	6
1.1.3 Les conséquences des évolutions récentes sur le risque incendie.....	7
1.2 <i>Les différentes solutions pour prévenir les incendies de forêts</i> .....	8
1.2.1 Le dispositif de prévention des incendies de forêts .....	8
1.2.2 Renforcer le dispositif réglementaire... ou faire confiance aux acteurs locaux ?.....	9
1.2.3 Une gestion du risque incendie problématique .....	10
1.3 <i>Présentation et définition des objectifs de l'étude</i> .....	11
1.3.1 La modélisation d'accompagnement.....	11
1.3.2 Un accompagnement des élus dans leur décision .....	12
1.3.3 Les différentes étapes du projet.....	13
<b>2 Du territoire réel au territoire virtuel</b> .....	<b>13</b>
2.1 <i>Une étude préalable du territoire</i> .....	13
2.1.1. Cartographie du territoire .....	13
2.1.2 Enjeux naturels.....	15
2.1.3. Dispositif DFCI.....	16
2.1.4. Identification des activités utilisatrices du territoire .....	17
2.2. <i>Elaboration de la carte virtuelle</i> .....	18
2.2.1. Des archétypes des communes.....	18
2.2.2. Une carte virtuelle de trois communes.....	20
2.3 <i>Elaboration du plateau de jeu</i> .....	23
2.3.1 Du mode vecteur au mode raster.....	23
2.3.2. Le plateau de jeu .....	24
<b>3 La modélisation participative</b> .....	<b>25</b>
3.1 <i>Une construction collective du modèle</i> .....	25
3.1.1. Un collectif de personnes familières du territoire .....	25
3.1.2. La conceptualisation du modèle.....	26
3.2. <i>La formalisation du modèle</i> .....	30
3.2.1. L'organisation du modèle .....	30
3.2.2. Les règles de décision .....	33
3.3 <i>Fonctionnement du modèle et articulation avec le jeu de rôles</i> .....	37
3.3.1 Les séquences du modèle .....	37
3.3.2 Les points de vue et les sondes .....	38
3.3.3 Des simulations du territoire .....	39

<b>4 Discussion.....</b>	<b>41</b>
4.1 <i>La démarche suivie en question</i> .....	41
4.1.1 D'un environnement concret à un environnement abstrait .....	41
4.1.2 La co-construction.....	46
4.2 <i>La validation du modèle NîmetPasLeFeu</i> .....	50
4.2.1 Validation technique et validation sociale .....	50
4.2.2 Adéquation du modèle aux objectifs fixés .....	51
4.3.3 Adaptation du modèle à d'autres contextes .....	52
<b>Conclusion.....</b>	<b>54</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>55</b>
<b>Liste des Abréviations.....</b>	<b>59</b>
<b>Annexe 1.....</b>	<b>61</b>
<b>Annexe 1.....</b>	<b>61</b>
<b>Annexe 3.....</b>	<b>63</b>
<b>Annexe 4.....</b>	<b>63</b>
<b>Annexe 5.....</b>	<b>65</b>
<b>Annexe 6.....</b>	<b>66</b>
<b>Annexe 7.....</b>	<b>67</b>
<b>Annexe 8.....</b>	<b>68</b>
<b>Annexe 9.....</b>	<b>69</b>
<b>Annexe 10.....</b>	<b>70</b>
<b>Annexe 11.....</b>	<b>70</b>
<b>Annexe 12.....</b>	<b>71</b>



## INTRODUCTION

Dans la région nîmoise, comme en de nombreux endroits de la zone méditerranéenne, la combinaison d'une urbanisation galopante et d'une fermeture progressive des milieux naturels a considérablement accru le risque d'incendie de forêts. La gestion du risque incendie devient de plus en plus problématique pour les gestionnaires du territoire, que ce soit au niveau des services de l'Etat (DDAF) ou des collectivités (communautés d'agglomération, communes). Elle concerne particulièrement les maires, qui ont en France des décisions importantes à prendre en terme d'aménagement du territoire, responsables à la fois de l'urbanisme et de la sécurité civile.

Une modélisation d'accompagnement, méthode de recherche-action visant à aider à la prise de décision dans un système complexe, a été choisie par la DDAF du Gard pour renforcer la réflexion des maires sur ce problème. Elle a porté sur un territoire comprenant quatorze communes de la Communauté d'Agglomération de Nîmes Métropole (CANM), avec l'objectif de faire réfléchir les élus à la prévention des incendies, en particulier au niveau des interfaces habitat/ forêt.

Ce rapport présente l'élaboration du modèle NîmetPasLeFeu, première étape de la démarche de modélisation d'accompagnement, qui a fait l'objet de mon stage de fin d'études à l'Unité Ecodéveloppement de l'INRA d'Avignon pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome de l'INA P-G. Une première partie du rapport décrit brièvement le territoire, ses enjeux, et rappelle l'historique du projet. Les deux parties suivantes sont dédiées aux deux étapes-clé de la construction du modèle : la partie deux concerne la phase de recueil d'informations et d'analyse du territoire, la partie trois s'intéresse à la phase de conceptualisation du modèle. La méthodologie adoptée et les résultats obtenus y sont présentés de manière conjointe. Dans une quatrième partie les résultats sont discutés et des perspectives de développement abordées.

# 1 CONTEXTE, PROBLEMATIQUE ET DEMARCHE

## 1.1 Présentation du territoire d'étude

Ce projet a concerné un territoire regroupant quatorze communes situées à proximité de la ville de Nîmes, et incluses dans la CANM, jeune intercommunalité créée en 2001 (regroupant 23 communes du sud du Gard). Bordé par les gorges du Gardon au nord, par le plateau des Costières et la Petite Camargue au sud, ce territoire de 34 000 ha présente deux grands types de paysages distincts :

- Des collines et plateaux, au nord, d'altitude comprise entre 80 et 210 m, aux sols généralement superficiels sur substrat calcaire, correspondant au massif forestier des « Garrigues de Nîmes ». Cet ensemble constitue une large bande de direction O-E et se termine au sud selon une ligne sinueuse que constitue le piémont des garrigues, sur lequel est en partie construite Nîmes.
- Une zone de plaine au sud et à l'ouest, aux sols profonds. La plaine de la Vistrenque, de forme oblongue, en partie inondable, est pourtant fortement urbanisée et constitue un axe de communication important, permettant de relier Nîmes à Montpellier et Marseille. Plus à l'ouest se trouve la plaine de la Vaunage, entourée des reliefs pentus de garrigues, et formant un cirque naturel (C.R.P.F., 2001).

Ce territoire se caractérise par un ensoleillement exceptionnel et une longue période de sécheresse estivale (moyenne annuelle des précipitations de 600 mm/an) (A.U.D.R.N., 2004).

### *1.1.1 Un territoire marqué par l'étalement urbain*

Outre l'agglomération nîmoise, qui compte à elle seule 132 000 habitants, ce territoire comporte six communes de moins de 2000 habitants, et sept communes de plus de 2000 habitants (source : INSEE). Comme le reste de la zone méditerranéenne, la CANM subit une pression démographique particulièrement importante : elle a accueilli 37 000 habitants au cours des vingt dernières années, et prévoit l'arrivée de 26 000 à 44 000 habitants supplémentaires à l'horizon 2020 (A.U.D.R.N., 2004). Depuis 1962, la population a été multipliée par un facteur quatre dans les communes situées au contact de Nîmes (avec un record pour Poulx, où la population a été multipliée par 16 !), et trois dans les communes de deuxième couronne (source : INSEE). L'accroissement de population s'est accompagné d'un fort étalement urbain : entre 1970 et 1990, la consommation d'espaces pour l'habitat, les zones d'activité, de consommation, de loisirs, les infrastructures a été aussi importante qu'au cours des vingt siècles précédents (respectivement 6300 et 6700 ha) (A.U.D.R.N., 2004) !

Cette forte consommation d'espace peut être reliée à l'implantation de logements individuels. En effet, les documents d'urbanisme élaborés au cours des dernières décennies ont privilégié l'ouverture de zones naturelles et agricoles pour des opérations de logements individuels, souvent avec l'obligation de respecter des tailles minimales de parcelles et de lots à bâtir (dans toutes les communes périurbaines et rurales disposant d'un POS). Ainsi, les premières et deuxième couronnes de Nîmes ont aujourd'hui plus de 80 % de logements individuels (A.U.D.R.N., 2004).

### *1.1.2 Les transformations des espaces agricoles et naturels*

Les espaces naturels du territoire se caractérisent par les étages de végétation méso méditerranéen inférieur (série du pin d'Alep) et méso méditerranéen supérieur (série du chêne vert). Le sous-bois est composé de chêne kermès, bien représenté dans les collines méditerranéennes à forte pierrosité (Dureau *et al.*, 2003). Pin d'Alep et chêne vert suivent des

dynamiques de végétation très différentes. Le pin d'Alep est une espèce de type expansionniste, ce qui permet, grâce à un potentiel de génération exceptionnel, une bonne adaptation à des milieux instables, aux stress climatiques et aux perturbations. Le chêne vert s'apparente à un modèle de résistance, caractérisé par une longévité et une aptitude à rejeter de souche très marquées, ce qui lui confère une résistance aux perturbations optimale. En zone méditerranéenne, les surfaces forestières progressent régulièrement depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Le pin d'Alep, représente la principale essence de reconquête (Hetier, 1993). Les usages sylvicoles (exploitation des taillis de chêne vert) ont progressivement disparu dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, ère de l'industrialisation et début de l'exode rural (C.R.P.F., 2001).

L'agriculture connaît une perte de vitesse importante sur ce territoire, comme l'illustre la diminution de la SAU recensée pour toutes les communes entre 1979 et 2000, et en particulier pour celles situées au contact direct de Nîmes. Les terres agricoles abandonnées ont été en grande partie gagnées par l'urbanisation. Les exploitations agricoles professionnelles sont de petite taille (de 20 à 40 ha en moyenne), peu nombreuses et moins présentes que les exploitations non professionnelles (source : RGA).

Les principales productions agricoles recensées en 2000 sont la vigne, les céréales et l'arboriculture (vergers d'oliviers, d'abricotiers, de pêchers, de cerisiers). Elevage ovin, bovin, et caprin sont très faiblement représentés, mais de nombreux chevaux utilisés à des fins de loisirs sont visibles sur ce territoire périurbain.

### *1.1.3 Les conséquences des évolutions récentes sur le risque incendie*

L'abandon progressif de l'activité agricole est à l'origine d'une fermeture des milieux, les parcelles abandonnées étant peu à peu recolonisées par la végétation naturelle (Hetier, 1993; Etienne *et al.*, 1998; Etienne, 2001). Zones urbaines et zones naturelles se trouvent ainsi de plus en plus souvent au contact l'une de l'autre. Les espaces agricoles, forestiers et urbains s'interpénètrent et forment des territoires plus ou moins complexes. Ces interfaces habitat – forêt (figure 1) posent des problèmes d'entretien et de gestion : elles constituent des zones particulièrement vulnérables aux incendies d'une part (risque subi), et les éclosions d'incendies y sont potentiellement plus importantes, du fait des activités humaines à risque au contact d'une végétation inflammable et combustible, d'autre part (risque induit) (Jappiot *et al.*, 2006).



Source : Nîmes Métropole

Figure 1 : exemple d'interfaces habitat/forêt (commune de Poulx, au N-E de Nîmes)

Les quatorze communes du territoire d'étude ont une partie de leur territoire dans le massif des Garrigues de Nîmes et connaissent une urbanisation importante : elles sont directement concernées par le risque d'incendie subi et induit (source : BD Prométhée).

D'après la base de données Prométhée, recensant l'ensemble des incendies de plus de 1 ha depuis les années 1970, des incendies de grande intensité (> 500 ha) ont touché ce territoire à plusieurs reprises, en 1976, 1979, 1982, 1989 et 2004 (annexe 1). Dans les années 1980, la surface incendiée est plus importante en moyenne sur le territoire que sur l'ensemble du département du Gard (1,15% de la surface du territoire/ an, contre 0,33%/ an pour le Gard). Si dans les années 1990, on observe moins d'incendies que dans l'ensemble du département, on en déplore par contre davantage au début des années 2000, à cause sans doute de l'incendie dramatique de Cabrières de 2004 (600 ha, éclosion dans la commune de Cabrières, puis propagation sur trois communes voisines) (source : BD Prométhée).

La combustibilité de la végétation augmente avec la fréquence des incendies. En effet, la végétation est maintenue au stade garrigue, formation végétale particulièrement combustible et ne peut pas évoluer vers les stades forestiers (phénomène de matorralisation, cf. (Hetier, 1993; Dureau *et al.*, 2003). De plus, la fréquence des incendies favorise l'extension du pin d'Alep, qui se régénère naturellement bien après incendies, mais qui par son inflammabilité est particulièrement sensible (Alexandrian et Rigolot, 1992). Si les écosystèmes matorralisés présentent un risque d'incendie très élevé, ils offrent également une médiocre richesse biologique; toutefois, ils n'en constituent pas moins une adaptation remarquable aux incendies répétés (Hetier, 1993).

La fermeture des milieux s'accompagne d'une perte de la diversité des paysages, qui formaient autrefois une mosaïque plus variée. La conséquence de la fermeture des milieux sur la biodiversité est moins claire, elle conduirait à une diminution de la biodiversité selon certains auteurs, à son augmentation selon d'autres (Etienne *et al.*, 1998; Etienne, 2001).

Face à ces risques accrus d'incendies de forêts, quelles sont les différentes solutions dont disposent les gestionnaires des espaces naturels ?

## **1.2 Les différentes solutions pour prévenir les incendies de forêts**

### *1.2.1 Le dispositif de prévention des incendies de forêts*

Dans les années 1990 s'est mise en place une politique volontariste d'équipement des forêts par l'intermédiaire des collectivités, des maîtres d'oeuvre et des pouvoirs publics (Lambert *et al.*, 1999; Dureau *et al.*, 2003). Dans le département du Gard, c'est la DDAF qui a piloté et coordonné la mise en place d'un dispositif de prévention des incendies, sur la base d'un partenariat étroit avec l'ONF, le SDIS, et le Conseil Général, en associant dans une moindre mesure la Région, la DDE, la Chambre d'Agriculture, le CRPF, la SAFER, les groupements de communes. Des Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI), Syndicats Intercommunaux à Vocation Unique (SIVU), Syndicats Intercommunaux à Vocation Multiple (SIVOM), ou Communautés de Communes, chargés de créer et d'entretenir les ouvrages, se sont créés à partir de cette époque (D.D.A.F.Gard., 2004).

Les orientations de protection sont définies par la DDAF dans les Plans Départementaux de Protection des Forêts contre l'Incendie (Plans Départementaux PFCI de 2000-2004 et 2005-2011). Ces plans font suite aux Schémas Directeurs d'Aménagement des Forêts contre l'Incendie (SDAFI) qui existaient depuis 1987, et s'en distinguent par leur caractère obligatoire (Fayein, 2003). Les Plans Départementaux PFCI se déclinent à l'échelle de massifs forestiers, définis comme des portions de territoire cohérentes pour la gestion du risque incendies, pris en charge par les EPCI (16 massifs forestiers dans le département du Gard). Ces orientations départementales et locales s'appuient sur une cartographie de l'aléa incendie : atlas départemental des zones exposées à l'aléa incendie au 1/100 000<sup>ème</sup>, plan de massif pour la protection des forêts contre l'incendie au 1/25 000<sup>ème</sup> (D.D.A.F.Gard., 2004).

Les communes de l'étude ont une part importante de leur territoire dans le massif des Garrigues de Nîmes (de 37 100 ha), et une commune s'étend dans le massif du Sommiérois (de 21 800 ha). Deux intercommunalités se partagent la gestion des équipements DCFI : le SIVU des Garrigues de Nîmes pour la majeure partie et le SIVU du Gardon pour trois communes bordées par les Gorges au nord-est du territoire (source : DDAF Gard).

Le dispositif en place à l'heure actuelle dans le département du Gard est le résultat de stratégies échelonnées dans le temps. De 1960 à 1990 a été mise en place une stratégie de lutte contre les incendies dans les espaces naturels méditerranéens (attaque des feux naissants). Mais malgré un nombre croissant de feux maîtrisés très rapidement, on observa une augmentation du nombre de grands feux, ce qui confirma la nécessité de privilégier une politique de prévention par l'amélioration du compartimentage des massifs grâce à des coupures de combustible (Lambert *et al.*, 1999).

Le dispositif actuel est avant tout axé sur la prévention des feux naissants, dans le but de :

- permettre une détection rapide des feux : observation fixe à partir de tours de guet, surveillance mobile grâce à des véhicules légers de liaison, des véhicules 4x4 porteurs d'eau, des avions de reconnaissance
- permettre un accès rapide au lieu de l'incendie : mise en place d'un réseau de pistes DFCI, équipements complémentaires aux voies de circulation publiques (annexe 2)
- offrir des conditions de sécurité suffisante pour la circulation des engins de lutte et l'attaque des feux naissants et ordinaires : entretien de bandes de sécurité débroussaillées le long des routes
- permettre l'approvisionnement en eau des véhicules de lutte contre les grands feux dans les endroits stratégiques : mise en place de citernes, points d'eau, bornes incendies (D.D.A.F.Gard., 2004)

Un débroussaillage des abords des pistes DFCI est assuré par les EPCI, avec l'appui technique de l'ONF (Auxiliaires de Protection de la Forêt Méditerranéenne) ou de la DDAF, celui des infrastructures est une obligation de leurs propriétaires respectifs (SNCF, ASF, communes, département). Il permet de diminuer l'intensité et de limiter la propagation des incendies par la réduction des combustibles végétaux en garantissant une rupture verticale et horizontale de la continuité du couvert végétal, en procédant à l'élagage des sujets maintenus et à l'élimination des rémanents de coupe (article L.321-5-3 du code forestier). Un débroussaillage obligatoire doit également être effectué par les particuliers autour de leurs habitations dans les zones à risque, dans un rayon de 50 m autour de la maison dans le cas d'une habitation isolée, et sur la totalité des terrains en zone urbaine (code forestier, articles L 322-1 ; préconisations présentées en annexe 2) (D.D.A.F.Gard., 2004; D.D.A.F.Gard., 2005).

### *1.2.2 Renforcer le dispositif réglementaire... ou faire confiance aux acteurs locaux ?*

Des outils juridiques peuvent être mis en place pour renforcer le dispositif de prévention précédemment décrit. Les Plans de Prévention des Risques Incendie de forêt ou PPRif, institués en 1995 (faisant suite aux Plans de Zones Sensibles aux Incendies de Forêt) sont des servitudes d'utilité publique limitant le droit de propriété et d'usage du sol. Ils sont basés sur un zonage du territoire, qui délimite des zones interdites aux constructions (zone rouge) et des secteurs qui ne sont pas directement exposés aux risques mais dont l'utilisation du sol pourraient aggraver les risques (zone bleue). Ils définissent des mesures de prévention et de modalité de mise en conformité des aménagements existants. Ces documents se trouvent annexés aux PLU et cartes communales. Ils visent à maîtriser l'interface habitat - forêt et à éviter des implantations diffuses qui peuvent être à l'origine de départs de feu et sont difficiles à protéger (source : DDAF Gard).

Le dispositif de prévention prévoyait en 2003 l'établissement de coupures de combustible, lignes de lutte établies contre les grands feux, en particulier ceux qui échappent à la stratégie d'intervention sur feux naissants, dans des endroits stratégiques (D.D.A.F.Gard., 2004).

Une coupure de combustible est une bande aménagée entre deux zones d'ancrage, peu sensibles aux incendies d'espaces naturels, assurant la continuité d'un dispositif anti-incendies, contribuant au cloisonnement du massif, et traitée de telle sorte que le feu ne puisse s'y propager (Lambert *et al.*, 1999). Trois zones potentielles de coupures de combustibles avaient été identifiées en 2004 sur le territoire nord de la CANM, à partir de l'existant agricole qui cloisonne naturellement le massif (D.D.A.F.Gard., 2004).

Le zonage visait entre autres à faciliter la réalisation de Contrats d'Agriculture Durable avec éleveurs ou agriculteurs qui participent par leurs pratiques au contrôle de l'embroussaillage. Six mesures avaient été retenues dans l'enjeu risque d'incendie de forêt pour le versement des aides: trois concernaient les activités pastorales, deux les activités agricoles, et la dernière l'agroforesterie. La DDAF souhaitait par le biais de ces aides encourager les activités agricoles et sylvicoles sur l'ensemble du territoire, car elles contribuent à le sécuriser, tout en diminuant les coûts d'entretien des équipements DFCI (D.D.A.F.Gard., 2004).

### *1.2.3 Une gestion du risque incendie problématique*

Le Plan Départemental PFCI prévoyait la défense des biens et des personnes mais aussi des espaces naturels contre les incendies. Pourtant, force est de constater que les services de lutte se concentrent prioritairement sur la protection des premiers, au détriment des seconds (Lambert *et al.*, 1999). Ce phénomène est renforcé sur ce territoire péri-urbain par la présence de nombreuses interfaces habitat-forêt, pour lesquelles le débroussaillage obligatoire est de surcroît peu appliqué par les particuliers dans bien des cas (D.D.A.F.Gard., 2004). Or le respect de cette obligation est à la charge des maires des communes (D.D.A.F.Gard., 2005).

Bien que soumis à un aléa incendie de forêt modéré à très fort, un seul PPRif a été prescrit sur ce territoire, sur la base du volontariat du maire concerné (D.D.A.F.Gard., 2004). Selon certains auteurs, le faible dynamisme de mise en place des PPRif est lié à une mauvaise acceptation par les autorités locales et les propriétaires concernés. En effet, ce dispositif porte atteinte au droit de propriété des particuliers, freine les projets urbanistiques des communes, et impose la mise en œuvre de mesures de prévention et de protection financièrement lourdes à assumer (Godfrin et Le Goff, 2003).

Les coupures de combustibles identifiées en 2003 ne présentent pas à l'heure actuelle une continuité suffisante sur le terrain pour être réellement efficaces pour la prévention des incendies. La fragilité de ces aménagements a été souligné par le CRPF sur l'ensemble du département du Gard (D.D.A.F.Gard., 2004). De plus, il n'y a pas à l'heure actuelle de contrats d'Agriculture Durable au titre de la DFCI sur cette zone (source : DDAF Gard).

Par le passé, des initiatives ont été prises pour diminuer le risque d'incendie sur le territoire, suite à des incendies de grande ampleur. Le programme européen *Mediterranean Space*, initié en 1989 avait permis la réalisation de plantations, de régénérations et de débroussaillages (D.D.A.F.Gard. *et al.*, 2004). En 2004, diverses propositions avaient été formulées par un groupe de travail technique pour reconstituer « les espaces naturels communautaires après incendie », et s'étaient concrétisées sur le terrain par une campagne de sensibilisation au « débroussaillage réglementaire » (sources : C.R.P.F, D.D.A.F. Gard).

Ces initiatives n'apparaissent pas comme des démarches de prévention, mais plutôt comme des mesures ponctuelles de réparation ou de première urgence. Les aménagements réalisés dans le cadre du programme *Mediterranean Space* n'ont pas été efficaces pour éviter l'incendie ou freiner sa propagation, comme l'a prouvé l'incendie de 2004, qui suivi à peu de choses près le

même parcours que celui de 1989. Cet exemple met en exergue le besoin de pérenniser les interventions destinées à ouvrir le milieu pour garantir leur efficacité.

Les activités agricoles pourraient contribuer à maintenir des milieux ouverts et à sécuriser le territoire vis à vis des incendies de forêts, mais les difficultés économiques qu'elle connaissent à l'heure actuelle soulèvent le problème de leur pérennité. Une réflexion concernant le rôle de l'agriculture sur l'aménagement du territoire serait intéressante à mener avec les maires des communes, pour renouveler une vision parfois négative vis à vis de l'agriculture (Serrano, 2005), et montrer l'intérêt que cette activité peut représenter pour la prévention des incendies.

### **1.3 Présentation et définition des objectifs de l'étude**

#### *1.3.1 La modélisation d'accompagnement*

Les prises de décision en terme d'aménagement du territoire, de gestion de l'eau, ou de prévention des incendies peuvent s'avérer très délicates pour les gestionnaires de l'espace (communes, collectivités...), étant donné la complexité des écosystèmes qu'elles concernent et la diversité des acteurs et des enjeux qu'elles impliquent. A partir de 1993, des chercheurs du CIRAD et de l'INRA, s'intéressant à la gestion collective des écosystèmes et partageant l'idée que dynamiques écologiques et dynamiques sociales devaient être considérées conjointement pour formaliser leur fonctionnement, ont développé la démarche de modélisation d'accompagnement. Ces chercheurs se sont ensuite regroupés au sein du collectif ComMod et ont adopté une charte fixant le cadre déontologique d'utilisation de leur démarche (Le Page *et al.*, 2004; ComMod., 2005).

La modélisation d'accompagnement postule que la prise de décision, est un processus, produit d'interactions entre différents points de vue sur l'environnement. Pour comprendre et formaliser ce processus, le modèle «multi-agents» a constitué un outil de choix pour les chercheurs ComMod: il permet de délimiter l'environnement et les groupes sociaux pertinents, d'explicitier les perceptions des acteurs (d'Aquino *et al.*, 2001; Le Page *et al.*, 2004). Un «agent» est une entité physique ou virtuelle, opérant dans un environnement, capable de percevoir et d'agir sur cet environnement, et pouvant communiquer avec d'autres agents. Il présente un comportement autonome que l'on peut voir comme une conséquence des connaissances dont il dispose, de ses interactions avec les autres agents, et du but qu'il poursuit. Un «Système Multi-Agent» (SMA) est un ensemble de processus informatiques opérant simultanément, c'est-à-dire un ensemble d'agents qui évoluent en même temps, partagent les mêmes ressources, et communiquent entre eux (Le Page *et al.*, 2004).

Une confrontation des acteurs avec un modèle informatique permet aux acteurs de reconnaître leurs différentes perceptions de la situation présente et de son évolution. Lorsqu'une conception partagée est établie, des objectifs à long terme peuvent être décidés et des scénarios permettant d'atteindre ces objectifs discutés. Une articulation du modèle avec un jeu de rôles, similaire au modèle multi-agents, est également possible. L'objectif du jeu de rôles est de fournir aux acteurs invités à y participer une meilleure compréhension du modèle, d'y apporter une validation, mais aussi de suivre des simulations et de proposer et discuter des scénarios (Le Page *et al.*, 2004; Bousquet et Trébuil, 2005). La participation des acteurs est un des éléments clé de cette démarche de recherche, en aval mais aussi en amont du modèle : l'élaboration du modèle conceptuel initial multi-agents s'appuie en effet sur un travail collectif entre chercheurs et gestionnaires (principe de co-construction) (Le Page *et al.*, 2004; Etienne, 2005; Etienne, 2006).

De nombreuses démarches de modélisation ont été menées dans le cadre de processus de décision sur la gestion de ressources naturelles. Un modèle de négociation entre forestier, chasseur, et éleveur, baptisé «Sylvopast», a par exemple été construit par Michel Etienne à l'Unité Ecodéveloppement d'Avignon pour anticiper l'impact d'aménagements sylvopastoraux

dans le cadre de plans de prévention des incendies de forêt en région méditerranéenne. Il a ensuite été simplifié en un jeu de rôle, « SylvopastJeu », afin de réaliser une typologie des stratégies de gestion de l'espace et des modes de négociation et aussi de disposer d'un outil pédagogique pour développer des capacités de gestion ou faire comprendre les contraintes propres à chaque usager (32 parties jouées avec des techniciens, 75 parties jouées avec des étudiants) (d'Aquino *et al.*, 2001; Etienne, 2003).

Les chercheurs du réseau ComMod ont également tiré partie des innovations technologiques récentes, en couplant les modèles multi-agents avec des Systèmes d'Information Géographique (Le Page *et al.*, 2004).

### *1.3.2 Un accompagnement des élus dans leur décision*

L'organisation politique actuelle mise en place pour la prévention des incendies place les élus des communes au centre d'une réflexion complexe, dont tous les enjeux ne sont pas forcément bien identifiés. La modélisation d'accompagnement a été choisie par la DDAF du Gard comme démarche participative conduite auprès des élus pour favoriser une réflexion sur le thème de la prévention des incendies, et l'aménagement de l'interface habitat - forêt. Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une étude de la DDAF initiée en 2005, financée par le Conservatoire de la Forêt Méditerranéenne, et portant sur « la prise en compte de l'aléa incendie dans les documents d'urbanisme et dans l'aménagement du territoire périurbain méditerranéen » (source : DDAF Gard).

La CANM, intercommunalité créée en 2001, forme un nouveau territoire dont l'échelle est cohérente pour mener une réflexion sur le risque incendie. Etant donné son rôle d'animation et de sensibilisation des acteurs à l'environnement, qu'il s'agisse du grand public ou des acteurs de l'aménagement du territoire, la CANM a été intégrée au projet en tant que partenaire direct. Les quatorze communes de la CANM situées au nord de l'autoroute A9, ayant une part de leur territoire dans le massif des Garrigues de Nîmes, particulièrement concernées par le risque d'incendie de forêt ont été choisies comme territoire d'étude.

Cette démarche répond à la volonté de la CANM de redonner une « vocation » aux espaces des garrigues nîmoises, souvent mal considérés par les acteurs locaux, du fait du type de végétation d'une part, jugée banale, voire même désagréable, et de leur situation périurbaine. La démarche peut constituer un complément intéressant à la Charte paysagère du massif des Garrigues de Nîmes Métropole, initiée en 2004 (source : Nîmes Métropole).

Une convention d'une durée de 8 mois a été établie entre la DDAF, la CANM, et l'INRA, pour sensibiliser les communes à la prévention des incendies de forêt. Pendant les six mois de mon stage de fin d'études à l'INA P-G, réalisé à l'unité Ecodéveloppement de l'INRA d'Avignon, ma mission était d'adapter le modèle SYLVOPAST (cf. paragraphe 1.3.1) au contexte de Nîmes Métropole. Pour l'élaboration de ce modèle, il a été demandé de prendre en compte les aspects d'intercommunalité, en créant un plateau de jeu comportant trois communes représentatives du territoire, deux communes à dominante rurale, une commune à dominante urbaine. Une classification des communes en cinq catégories a été proposée par les commanditaires, en fonction de la nature de la végétation et du type d'urbanisation identifiés. Elle distinguait les communes :

- de piémont composé par une yeuseraie (forêt de chêne vert) avec une avancée du pin d'Alep : Saint-Dionisy, Saint-Côme et Maruejols, Clarensac
- dont l'étalement urbain se fait au détriment de la yeuseraie: Caveirac, Langlade
- dont l'urbanisation se cantonne en deçà de l'autoroute : Bernis, Milhaud
- qui vont être touchées par le site classé du Gardon que leur urbanisation grignotait : Lédenon, Poulx, Cabrières
- dont l'étalement urbain se fait au contact des garrigues : Marguerittes, Saint-Gervasy, Bezouze.

Un deuxième objectif était d'ajouter dans le modèle les activités agricoles autres que l'élevage (en particulier viticulture, oléiculture, trufficulture) et d'y intégrer le processus d'urbanisation.

### *1.3.3 Les différentes étapes du projet*

L'adaptation du modèle SYLVOPAST, s'est réalisée en deux phases successives.

Une analyse du territoire réel a été menée dans le but de définir l'état initial de l'environnement, les activités pertinentes à considérer, leur dynamique. Elle a consisté à effectuer une cartographie en utilisant un SIG, ce qui a permis de dégager les grands types d'organisation de l'espace et de bâtir une carte virtuelle du territoire. Les diverses activités utilisatrices du territoire et leur dynamique ont ensuite été identifiées sur la base d'entretiens réalisés auprès de techniciens.

Dans une deuxième étape, le Système Multi-Agent a été élaboré. Un couplage du SIG avec la plate-forme de modélisation a assuré le passage de la carte virtuelle au plateau de jeu. Le modèle a été construit collectivement sur la base d'un groupe de personnes ressources, ayant une vision globale sur les principales activités utilisatrices du territoire. Les règles données par le collectif ont été codées grâce à la plate-forme de modélisation Cormas et ont permis d'aboutir à un premier modèle adapté de SYLVOPAST, baptisé NimetPasLeFeu (jeu de mots entre « Pas de feu à Nîmes » et « N'y mets pas le feu ! »).

## **2 DU TERRITOIRE REEL AU TERRITOIRE VIRTUEL**

### **2.1 Une étude préalable du territoire**

#### *2.1.1. Cartographie du territoire*

Les informations cartographiques du territoire sont issues de la base de données départementale 2SIGard de DDAF, utilisant le SIG Arcview (version 3.3). Dans un premier temps, un choix des données numériques jugées utiles pour cette étude a été effectué. Parmi les données sélectionnées, les couches numériques suivantes ont permis d'analyser l'occupation du sol du territoire :

- fonds IGN 1/25 000<sup>ème</sup> scannés (15 dalles)
- orthophotos scannées couleur au 1/17 000<sup>ème</sup>, dont les prises de vue ont été réalisées entre le 17 mai et le 4 juin 2001 (29 dalles)
- des cartes thématiques : inventaires forestiers de 1995 et 2000 (avec accord de l'IFN), communes, routes (autoroutes, routes de grande circulation, routes régionales, routes locales, chemins ou sentiers)

Ces cartes ont été importées puis analysées sous le logiciel SIG Mapinfo (version 7.5). La réalisation d'une carte thématique des types forestiers (63 types forestiers identifiés) de l'Inventaire Forestier de 2000 a permis d'identifier les grands types de végétation naturelle de la zone. L'observation de cette carte sur l'ensemble du territoire m'a amené à retenir sept catégories pour caractériser les zones naturelles: futaie de pin d'Alep, taillis de chêne vert, mélange de futaie de pin d'Alep et de taillis de chêne vert, garrigue boisée, garrigue non boisée, et friche. Néanmoins, une distinction a été faite par la suite entre garrigue boisée de Pin d'Alep et garrigue boisée de chêne vert. Ces deux types forestiers ne présentent pas la même sensibilité aux incendies (Alexandrian et Rigolot, 1992).

Après un tour d'horizon des zones agricoles sur les photos aériennes, les catégories d'utilisation du sol qui me sont apparues importantes à distinguer, tout en prenant en compte la

sensibilité par rapport aux incendies, étaient les suivantes: céréale ou prairie, vigne, verger, vigne enherbée, verger enherbé.

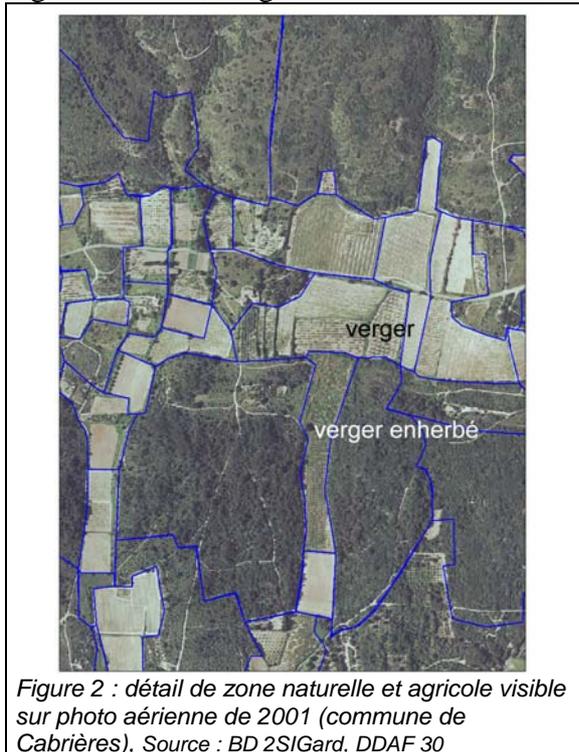


Figure 2 : détail de zone naturelle et agricole visible sur photo aérienne de 2001 (commune de Cabrières), Source : BD 2SIGard, DDAF 30

La distinction entre vigne/verger bien entretenu et vigne/verger enherbé semblait importante à considérer car ils ne présentent pas le même risque par rapport aux incendies, le risque étant fortement augmenté par la présence d’herbes en été, qui font un effet mèche (Lambert *et al.*, 1999). Les vignes ou vergers étaient considérés comme enherbés à partir du moment où des langues de verdure étaient visibles entre les rangs (figure 2).

Par contre, il n’était pas possible de distinguer les céréales des prairies sur les photos, alors que ces deux catégories d’utilisation du sol ont un comportement au feu différent en période estivale, lorsque les céréales ont été déchaumés (Hetier, 1993; Lambert *et al.*, 1999).

De même, pour les zones urbaines, les catégories d’utilisation du sol qui me sont apparues importantes à distinguer étaient le cœur de village, la zone urbaine avec une végétation naturelle peu importante, la zone urbaine avec une végétation naturelle importante, chacune de ces zones urbaines présentant une sensibilité croissante par rapport aux incendies (liée à l’importance de la végétation, qui assure une continuité horizontale ) (Dureau *et al.*, 2003).

Cette classification a été modifiée à la suite d’une tournée de terrain effectuée sur la zone : ce qui avait été identifié comme zone urbaine avec une végétation naturelle peu importante correspondait plutôt à une urbanisation gagnant l’ancienne plaine agricole, et caractérisée par une végétation jardinée (mais parfois assez importante). La zone urbaine avec une végétation naturelle importante correspondait quant à elle à une urbanisation se faisant au détriment de l’espace naturel, et caractérisée par une végétation « autochtone », fréquemment du Pin d’Alep (les trois catégories urbaines sont présentées sans la figure 3 ci-contre).

Il semblait important de distinguer ces catégories par rapport au risque incendie de forêt, malgré l’avis des partenaires du projet de rassembler urbanisation dans la plaine agricole et dans l’espace naturel dans une seule catégorie, caractérisée par un habitat en association avec de la végétation « naturelle »

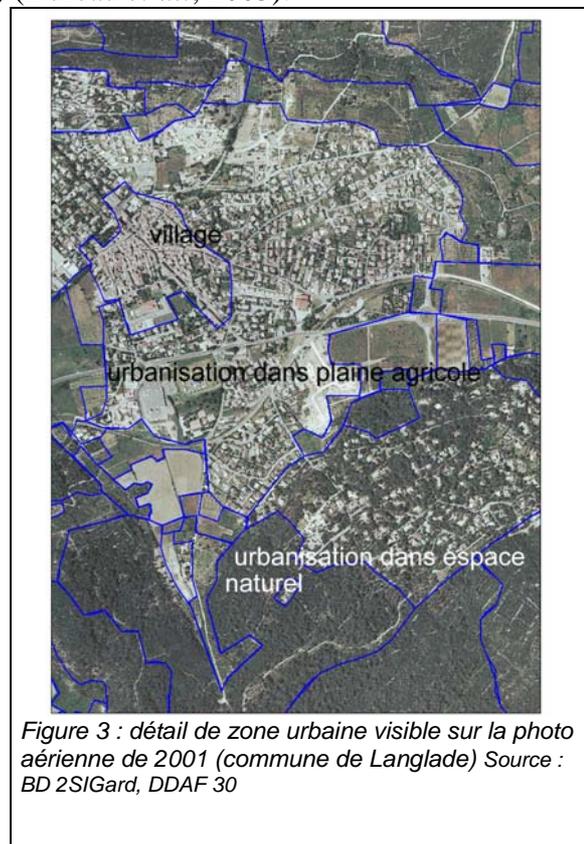


Figure 3 : détail de zone urbaine visible sur la photo aérienne de 2001 (commune de Langlade) Source : BD 2SIGard, DDAF 30

Les catégories finalement retenues pour caractériser le territoire constituent la légende de la carte d'occupation du sol figurée ci-dessous (figure 4). Une photo-interprétation des zones agricoles et urbaines a été réalisée sur l'ensemble des communes. Les aires agricoles et urbaines présentant un aspect homogène sur la photo (motif de végétation homogène, densité de l'habitat comparable) ont été regroupées au sein d'un même polygone. L'occupation du sol de certaines zones agricoles n'a pas pu être identifiée (distingo entre vigne/verger entretenu et vigne/verger enherbé parfois délicat à faire, certaines occupations du sol non reconnues : parcelles apparaissant très blanches sur la photo), mais l'objectif de ce zonage était plutôt d'avoir une idée de la répartition spatiale des catégories d'utilisation du sol les plus représentées sur le territoire plutôt que d'en faire un inventaire exhaustif. Un extrait de la carte d'occupation du sol résultant de cet exercice de photo-interprétation est présenté pour la commune de Cabrières en figure 4.

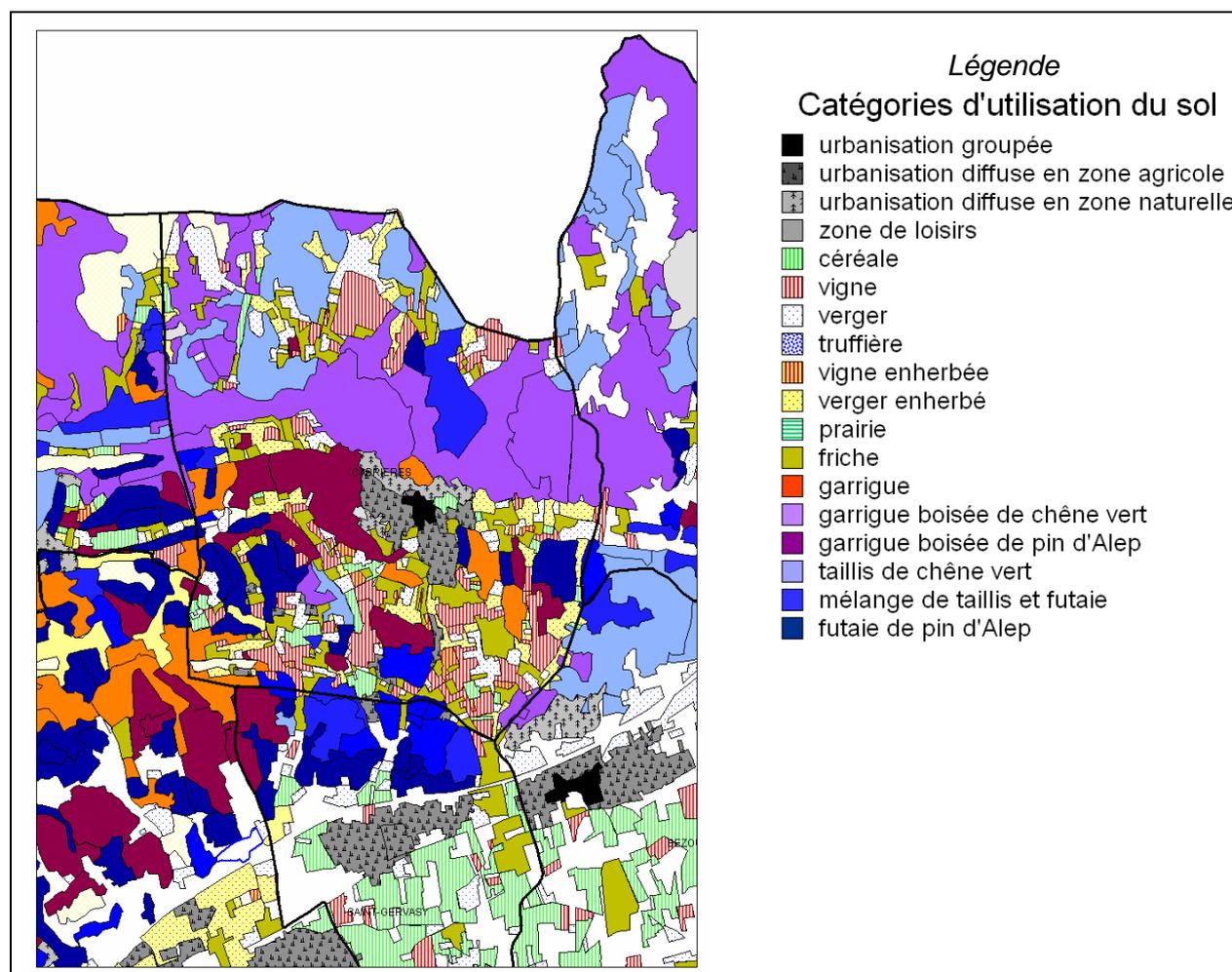


Figure 4: le résultat de la photo-interprétation réalisée (exemple sur la commune de Cabrières)

### 2.1.2 Enjeux naturels

#### Les risques

La carte du risque d'incendie du territoire élaborée par la DDAF prend en compte le type de végétation, l'exposition et la pente. Dans notre étude, le risque d'incendie pourra être déterminé en fonction des types de végétation préalablement identifiés. Une modélisation simple de la propagation des incendies pourra alors être élaborée. L'aérogologie constitue un facteur important de la propagation des incendies (Dupuy, 2000). Pour déterminer les conditions aérogologiques du territoire, des couches numériques issues de la BD départementale de la DDAF portant plus spécifiquement sur les feux de forêts ont été utilisées :

- contours des feux de forêts (cinq cartes pour les années 2001 à 2005)
- départs supposés des feux de forêts (cinq cartes pour les années 2001 à 2005)

La superposition des contours de feux avec leurs points de départs a permis d'avoir une idée de la propagation des incendies, et par voie de conséquence, la direction du vent dominant. Dans la plupart des cas, il semble que le feu suive une direction S-S-O, ce qui indique que le vent dominant provient du N-N-E. Cette direction a été confirmée par la DDAF (direction également mentionnée dans la note sur le feu de Cabrières de 2004, D.D.A.F.Gard. *et al.*, 2004).

Si le nord du territoire est soumis à un risque d'incendie, le sud est quant à lui fortement concerné par le risque inondation. Sa prise en compte dans l'aménagement du territoire contraint l'extension de l'urbanisation vers le nord, et accroît le risque incendie du territoire (source : Nîmes Métropole). C'est pourquoi les zones inondables du territoire ont été repérées dans cette analyse cartographique. D'après un zonage de 2004, toutes les communes sont concernées par le risque inondation. Les zones inondables sont situées au sud de l'autoroute A9, et s'insinuent largement sur la commune de Nîmes vers le nord (limites de débordement du Vistre) ; elles correspondent aux parties les plus basses de la plaine de la Vaunage (lit du Rhône) ; elles sont présentes dans une moindre mesure en bordure du Gardon à l'extrême nord-est du territoire (source: DIREN Languedoc-Roussillon).

### **Les périmètres de protection**

Certains dispositifs de protection des sites naturels constituent également un frein à l'avancée de l'urbanisation. A ce titre, le nord-est du territoire fait partie du site classé des Gorges du Gardon (quatre communes concernées). Une partie de ce site constitue une Zone de Protection Spéciale Natura 2000 Gorges du Gardon (classée depuis 1991- trois communes concernées). Certaines communes situées le long de l'autoroute A9 ont une partie de leur territoire située au sein de la Zone de Protection des Costières (classée depuis mars 2006). La Zone de Protection Spéciale Camp des Garrigues concerne quant à elle la commune de Nîmes.

#### *2.1.3. Dispositif DFCI*

Les routes du réseau urbain, prolongées dans les massifs par les pistes DFCI, sont utilisées par les services de secours lors des alertes incendies. Leur localisation, leur densité, conditionnent l'accessibilité aux massifs touchés, et jouent donc un rôle important dans le dispositif de lutte. Les routes permettant d'accéder facilement aux massifs ont été repérées : voies de grande circulation, routes goudronnées, et chemins avec bande de sécurité aménagées (couches thématiques des routes du réseau routier, pistes DFCI). Le tracé de l'autoroute A9, qui coupe le territoire en deux, et peut contribuer à ralentir l'accès des secours aux massifs forestiers a été pris en compte.

La localisation des centres de secours sur le territoire constitue un point important du dispositif, car elle détermine la rapidité de l'intervention des pompiers. Les deux centres de secours desservant le territoire (Nîmes et Marguerittes) ont été localisés sur le territoire grâce à la couche numérique centres de secours (transmises par le service SIG du SDIS). Les centres ont été contactés pour avoir des informations sur leur rayon d'action.

Les coupures de combustible identifiées par la DDAF concernant principalement la commune de Nîmes (partie nord) et restant partiellement aménagées sur le terrain, elles n'ont pas été prises en compte dans cette analyse cartographique.

#### *2.1.4. Identification des activités utilisatrices du territoire*

Parallèlement à cette analyse du territoire, les activités qui participent à ouvrir ou à contrario à fermer le milieu ont été identifiées : la viticulture, et l'oléiculture (spéculations agricoles souvent situées au contact de l'espace naturel) ; la sylviculture truffière ; l'élevage ; la sylviculture ; la chasse.

Des entretiens ont été réalisés auprès de techniciens, professionnels, élus pour caractériser ces activités utilisatrices du territoire et compléter les données issues de l'observation des photos aériennes: les questions posées ont porté sur l'importance des surfaces concernées par cette activité, leur localisation, leur dynamique depuis ces cinq dernières années. Ces informations ont été recoupées avec quelques informations cartographiques, concernant le zonage AOC viticole, et le statut du massif forestier (BD 2SIGard, avec accord de l'ONF).

Les cultures pérennes, vignes et olivettes, sont importantes sur le territoire en bordure des espaces naturels ou au sein même des espaces naturels (vignoble de 40 ha en garrigue dans une commune). Elles bénéficient des délimitations AOC (Côteaux du Languedoc ; Olive de Nîmes; Huile d'Olive de Nîmes), de plans de soutien (Plan de Relance Oléicole depuis 1997). Les truffières sont présentes dans le milieu naturel, mais assez ponctuellement encore par rapport à l'Uzège (les surfaces sont de toute façon souvent très limitées : 1000m<sup>2</sup> de truffière pour 5 ha de parcelle forestière).

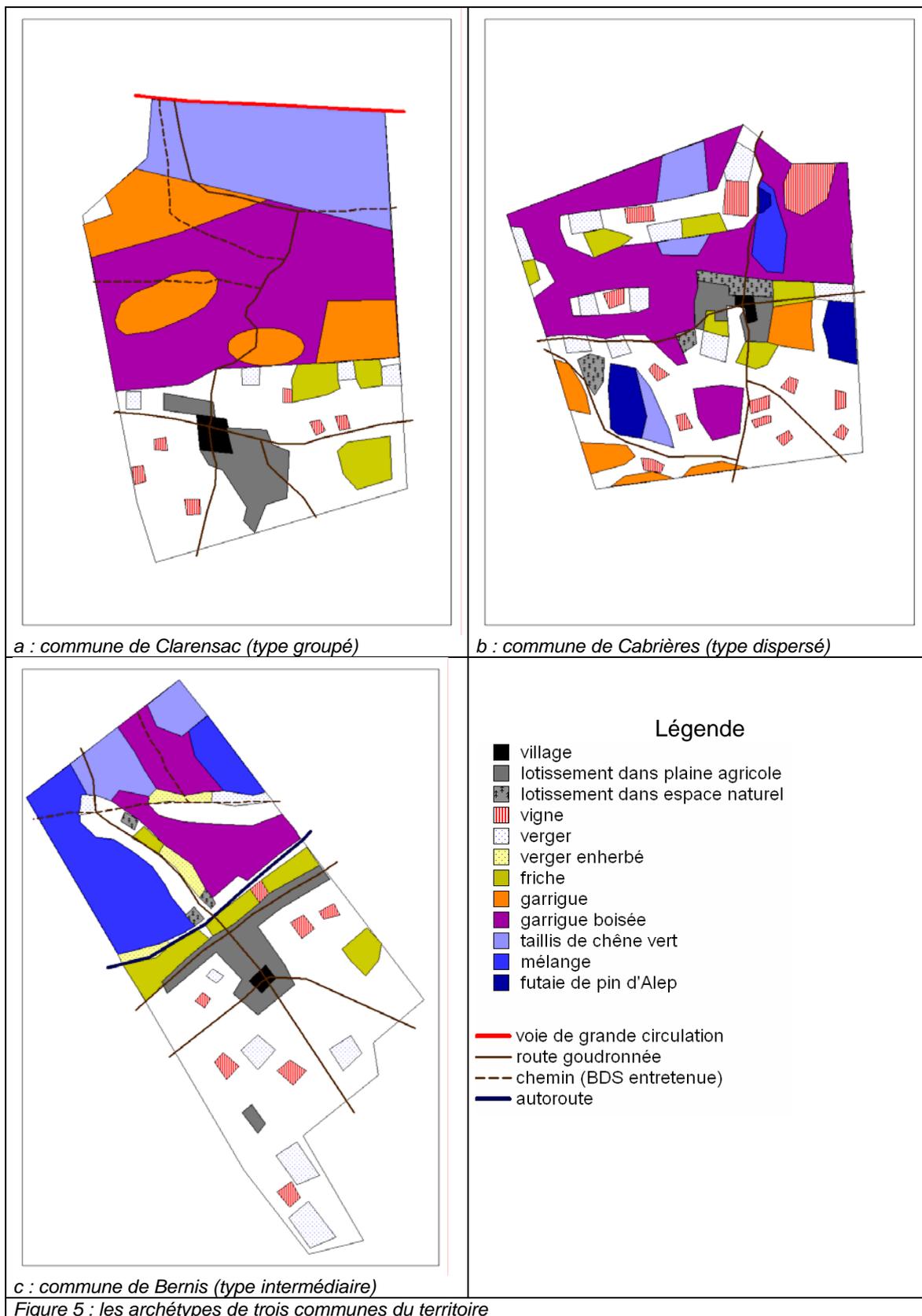
L'élevage semble très peu présent, avec deux élevages caprins, quatre ou cinq élevages ovins transhumants et deux manades identifiés sur l'ensemble du territoire. L'élevage demande néanmoins à se développer : cinq à six installations d'élevages caprins dans l'ensemble du département du Gard, recherche de terres de repli par les manadiers dans les zones de garrigues. Enfin, l'élevage équin de loisirs est fortement développé sur la zone, et il n'est pas rare de voir deux à trois chevaux sur des terrains en friches en sortie des villages (aperçus lors de la tournée de terrain, et présence soulignée par les techniciens de la Chambre d'Agriculture). Peu de données précises sont disponibles pour dénombrer le nombre de chevaux sur le territoire (pas de suivi obligatoire par les particuliers, même depuis la loi d'identification de tous les équidés de 2003...). Néanmoins, les chevaux de loisirs ne seraient pas moins de 200 et 300 sur la partie Vaunage, le territoire bénéficiant d'une tradition équine assez forte (proximité de la Camargue).

Que ce soit en forêt communale soumise (un quart du territoire), ou en forêt privée, les interventions sylvicoles à objectif de production de bois sont très peu fréquentes, et l'essentiel des interventions sur la forêt concernent les aménagements DFCI : entretien des abords des routes et des pistes. Une activité très dynamique sur le territoire est par contre la chasse, avec principalement la chasse au sanglier dans la zone naturelle. Toutes les communes possèdent leur société de chasse (Nîmes en compte sept).

Une grille de questions a été élaborée dans le but de caractériser le phénomène d'urbanisation (portant sur la pression urbaine, la sensibilité des zones urbaines, les facteurs d'attractivité, la densité de l'habitat) et a été présentée à deux urbanistes et au maire d'une des communes du territoire (réunion du 18/04/06). Cet atelier a permis d'avoir une idée de la définition de la pression urbaine (définie comme le nombre de demandes de permis de construire), et de donner un ordre de grandeur de la densité de l'habitat pour l'urbanisation diffuse (20 logements / ha comme limite supérieure).

## 2.2. Elaboration de la carte virtuelle

### 2.2.1. Des archétypes des communes



Des archétypes des communes (figure 5) ont été construits à partir de la carte précédemment élaborée en fonction des catégories d'utilisation du sol identifiées sur le territoire. Zones urbaine, agricole et naturelle ont été schématisées au sein d'une aire communale à la forme simplifiée. Les différentes catégories d'occupation du sol ont ensuite été reportées dans les trois zones. L'objectif était de faire ressortir l'organisation spatiale des zones urbaine, agricole et naturelle entre elles, et de localiser les principales occupations du sol. Seule la ville de Nîmes n'a pas été schématisée, la différence d'échelle entre l'agglomération et les communes alentour rendant délicate sa prise en compte dans l'élaboration de la carte virtuelle.

Les archétypes des communes mettent en exergue la situation de la zone naturelle par rapport au reste du territoire : en majorité au nord de la commune. Le vent dominant provenant du N-N-E, cette situation crée un risque particulièrement important.

Les archétypes des communes ont fait apparaître trois types d'organisation différents :

- une organisation « groupée » (groupe 1, figure 5a), dans laquelle zone naturelle, agricole et urbaine sont assez clairement séparées. D'un côté de la commune se distingue clairement la plaine agricole, de l'autre s'étend la zone naturelle. Seules quelques parcelles agricoles sont visibles au sein de la zone naturelle (vignes en particulier). L'habitat est relativement concentré au sein d'un pôle urbain, occupant une position centrale dans la commune, entre zone naturelle et zone agricole, et il n'y a pas ou peu d'habitat diffus. Cette organisation a été identifiée sur les cinq communes de la Vaunage, Saint-Côme et Maruejols, Clarensac, Caveirac, Saint-Dionisy, Langlade (nord-ouest du territoire), ainsi que Bezouze, située à l'est de Nîmes.
- une organisation « dispersée » (groupe 2, figure 5b), dans laquelle zone naturelle, agricole et urbaine s'imbriquent les unes dans les autres, avec de vastes ouvertures dédiées à l'agriculture dans la zone naturelle, et des « îlots » de zone naturelle dans la partie agricole, donnant parfois un aspect de patchwork. Le pôle urbain occupe une surface plus restreinte, mais de l'habitat diffus occupe la plaine agricole. Deux communes, Lédénon et Cabrières, situées à l'extrême est du territoire, se caractérisent par cette organisation.
- Une organisation « intermédiaire » (groupe 3, figure 5c) entre les deux précédentes, avec une zone naturelle agglomérée au nord, mais qui prend un aspect beaucoup plus déstructuré à mesure que l'on descend vers le sud, avec des incursions importantes de zones agricoles. L'habitat se caractérise par un pôle urbain de taille importante et bien délimité mais on retrouve un habitat diffus dans la plaine, voire même dans l'espace naturel. On retrouve ce type d'organisation pour des communes situées le long de l'autoroute A9, Bernis, Milhaud, Marguerittes, Saint-Gervasy. Poulx, située à l'est et au contact de Nîmes, possède une configuration assez particulière car la zone agricole y est quasi-inexistante. Elle a été rattachée à ce groupe pour l'importance de l'habitat diffus dans le milieu naturel qui la caractérise.

La classification proposée permet de bien répondre au souhait formulé par les commanditaires en début de projet de travailler sur trois communes. La catégorie 3 regroupe majoritairement des communes urbaines, tandis que les catégories 1 et 2 rassemblent souvent des communes rurales, ce qui permet de respecter le ratio deux communes rurales/une commune urbaine qui avait été proposé. Cette classification ne suit pas tout à fait celle qui avait été donnée initialement par les partenaires du projet pour décrire la diversité des communes du territoire (cf. paragraphe 1.3.2).

Les archétypes des communes ont été validés au cours d'une réunion associant les commanditaires et trois autres personnes associés au projet, le maire d'une des communes concernés, un urbaniste, un technicien de la Chambre d'Agriculture, Service Aménagement (réunion du 12/05/06). La différence entre la classification initiale et la classification issue de l'analyse cartographique a néanmoins été soulignée, et en particulier, il a été remarqué que les groupes d'archétypes proposés n'étaient pas toujours homogènes du point de vue de l'avancée de l'urbanisation.

### *2.2.2. Une carte virtuelle de trois communes*

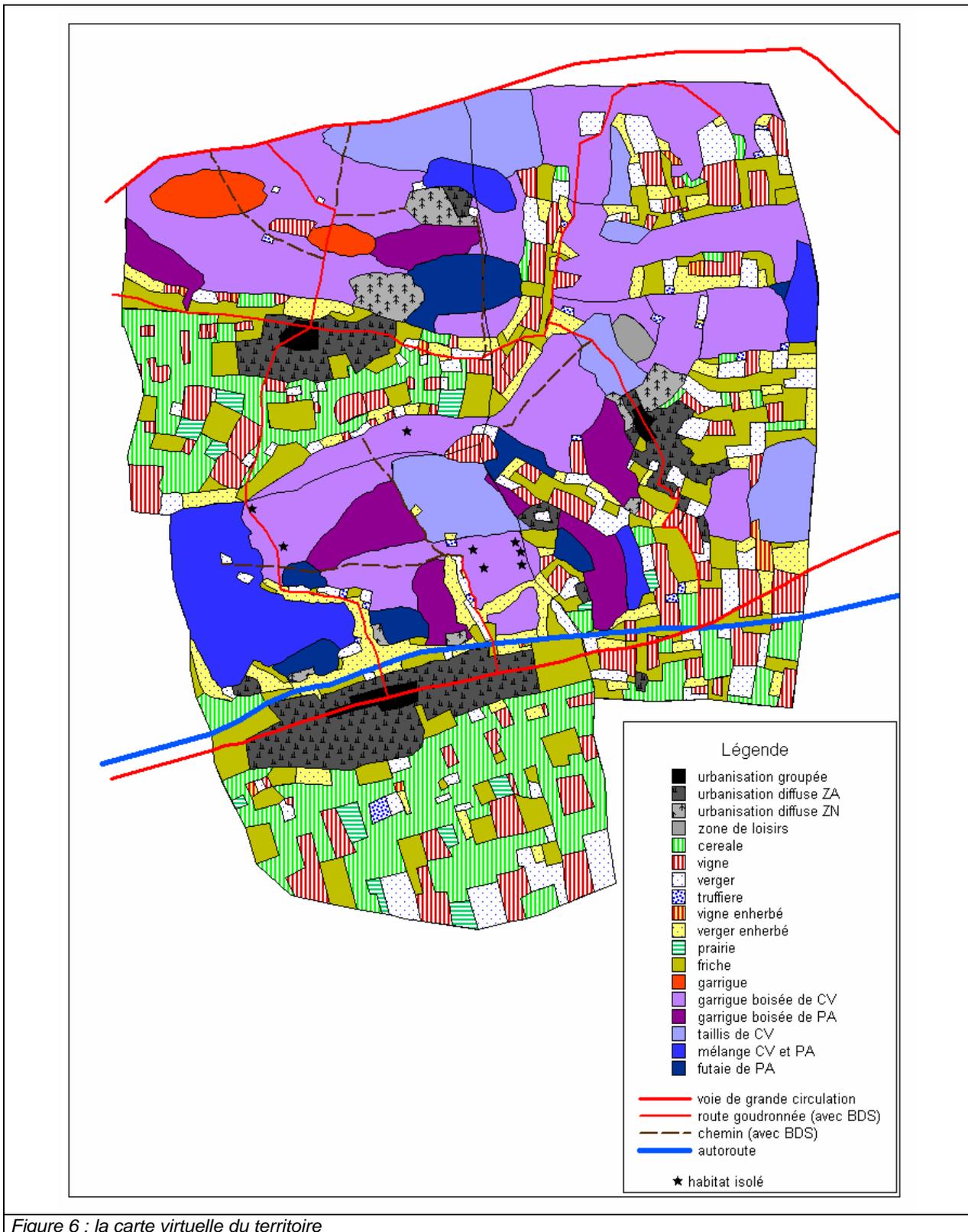


Figure 6 : la carte virtuelle du territoire

Une carte regroupant trois communes a été imaginée en reprenant les archétypes des communes de type 1, 2 et 3 identifiés préalablement (figure 6). Après esquisse sur papier, la carte virtuelle a été dessinée sous SIG grâce à plusieurs couches thématiques, créées successivement (même géo-référencement que la carte d'utilisation du sol) :

- *Couche thématique A* : tracé des trois communes, en respectant la position des communes réelles (type 1 à gauche, type 2 à droite, type 3 en dessous du type 1), en

faisant en sorte que les surfaces des polygones correspondent à la moyenne des surfaces communales réelles

- *Couche thématique B* : tracé de la zone naturelle, dont la position et l'organisation est caractéristique du territoire. Au nord de la commune, elle apparaît homogène sur la commune de type 1, légèrement déstructurée sur la commune de type 3, fortement déstructurée sur la commune de type 2. Cette couche provisoire, utilisée comme un calque par la suite, permet de donner une première structure au territoire.
- *Couche thématique C* : tracé des différentes catégories d'utilisation du sol, en commençant par les zones urbaines (cœur de village et urbanisation dans la plaine agricole), car leur positions par rapport à la zone naturelle paraissent cruciales par rapport au risque incendie. Les surfaces des polygones correspondent à la moyenne des surfaces des zones urbaines réelles. Les catégories identifiées pour caractériser la zone naturelle, ainsi que l'urbanisation diffuse en zone naturelle ont été ensuite placées à l'intérieur du contour du calque (*couche thématique B*). Les catégories identifiées pour caractériser la zone agricole ont été ajoutées en dernier lieu.

Certaines utilisations du sol ont été ajoutées sur la carte virtuelle, bien qu'elles n'aient pas été identifiées spécifiquement lors de l'élaboration de la carte d'utilisation du sol. Il s'agit des truffières, dont l'étendue est souvent trop faible pour être identifiable sur le territoire (une seule réellement localisée, se distinguant par la position caractéristique des chênes en quinconce), mais dont la présence avait été spécifiée dès le début du projet, et des prairies, qui ne se distinguent pas aisément des surfaces en céréale, mais dont le comportement au feu va pourtant être sensiblement différent. Des truffières ont par conséquent été placées sur le territoire en fonction des données disponibles à la Chambre d'Agriculture (plantations communales réalisées entre 1997 et 2003). Quelques prairies ont été ajoutées sur la partie de plaine, au sud du territoire.

Le code couleur utilisé dans le modèle SYLVOPAST, basé sur le principe de la gamme chromatique (bleu pour la strate arborée, rouge pour la strate arbustive, jaune pour la strate herbacée) (Etienne, 2003; Fayein, 2003), a été repris pour représenter les différentes catégories d'utilisation du sol. Les figurés pleins ont été gardés pour la zone naturelle, tandis que des figurés hachuré ou pointillé ont été adoptés pour caractériser la zone agricole, qui n'apparaît pas dans SYLVOPAST. Ainsi un verger enherbé a été représenté par des pointillés bleus (arbres) sur fond jaune (l'herbe). Céréale et prairie ont été indiqués en vert (et non pas en jaune) pour une meilleure visibilité. Les zones urbaines sont quant à elles figurés par des tons grisés (figuré plein pour le cœur de village, figuré à motif pour l'urbanisation diffuse).

Deux localisations du centre de secours, ont été jugées intéressantes à considérer: dans un premier cas, le centre de secours se trouvera à l'extérieur de la carte (communes de l'ouest du territoire), dans un second cas, le centre de secours se trouvera sur le territoire (dans la commune de type « intermédiaire »).

Une *couche thématique D* a été créée : y est indiqué le tracé des routes, permettant un accès aux massifs forestiers (voies de grande circulation, routes goudronnées avec bande de sécurité entretenue, piste DFCI avec bande de sécurité entretenue), ou barrant à contrario l'accès aux massifs (autoroute). L'hypothèse a été faite que seules les pistes DFCI entretenues étaient empruntées par les services de secours au cours de leurs interventions. Le tracé des routes a été fait en respectant leur localisation, ainsi que leur densité. Ainsi la commune située en haut à gauche, se trouve relativement éloignée du centre de secours, mais possède un bon quadrillage du massif forestier par les pistes DFCI. La commune en bas à gauche, se caractérise par une bonne accessibilité des centres de secours, et un quadrillage correct du massif forestier par les

pistes DFCI. Pour la commune de droite, on a un éloignement par rapport au centre de secours, et un quadrillage faible du massif forestier par les pistes DFCI.

La carte virtuelle du territoire, présentée en même temps que les archétypes des communes aux partenaires du projet (réunion du 12/05/06), a été approuvée, mis à part quelques remarques concernant la représentation de l'habitat isolé et les routes. Suite à ces remarques, des changements ont été apportés à la carte virtuelle initiale: un tracé de route, et un piquetis d'habitat isolé ont été introduits dans la commune de type 3 (création d'une nouvelle *couche thématique E*). Enfin, pour les besoins de la modélisation, une *couche thématique F*, indiquant la localisation des zones inondables et des zones de protection spéciales, aires limitant l'extension de l'urbanisation, a été dessinée.

Des zones inondables ont été tracées sur les communes de types 1 et 3, dans les parties sud des territoires (faible surface pour la commune de type 1, moitié sud pour la commune de type 3). Seule une zone de protection spéciale a été placée sur l'archétype du territoire, dans le nord de la commune de type 2. En effet, une autre zone de protection spéciale aurait par exemple pu être placée dans le sud de la commune de type 3 (zone humide), mais le périmètre se recoupe avec la zone inondable, et le résultat par rapport à la modélisation de l'urbanisation est le même.

Pour renseigner les champs des couches thématiques, des codes numériques basés sur des entiers ont été adoptés. Le code décrivant l'utilisation du sol (couche thématique 3) varie de 1 à 4 pour les catégories urbaines, de 11 à 33 pour les catégories agricoles, de 101 à 107 pour les catégories naturelles.

## **2.3 Elaboration du plateau de jeu**

### *2.3.1 Du mode vecteur au mode raster*

Pour pouvoir utiliser la carte virtuelle du territoire comme support au jeu de rôles, un couplage entre SIG et SMA est nécessaire. La carte virtuelle créée sous MapInfo est une carte de polygones, de format vecteur. Or l'outil de simulation Cormas, développé par les chercheurs ComMod pour construire les SMA, est basé sur un environnement spatial similaire à un automate cellulaire, qui nécessite de disposer d'une grille discrétisée. Le format d'échange entre MapInfo et Cormas le plus logique était donc le mode raster (site CORMAS ; Zunga *et al.*, 1999).

La première étape du couplage SIG – SMA a consisté à convertir la carte virtuelle au format raster. Sous MapInfo, une grille, dont les dimensions recouvrent entièrement la carte virtuelle (83x69 ha) a été tracée avec l'outil « Grille ». Six champs ont été créés dans les données de la grille et mis à jour avec les informations des *couches thématiques A à F* constituant la carte virtuelle (jointure géographique).

Trois cartes raster, comportant respectivement 264x214, 83x69 et 42x35 cellules (mailles de 1000m<sup>2</sup>, 1 ha, et 4 ha) ont été générées selon cette méthode. Les mailles ont été choisies par rapport à leur pertinence à servir d'unité de gestion dans le jeu de rôles. Une fourchette des surfaces occupées par les unités de gestion choisies a été estimée par observation des photos aériennes, ou à partir des documents d'urbanisme des communes (6 POS/ PLU consultés). Les mailles choisies étaient les suivantes :

- 1000 m<sup>2</sup> : surface d'un grand terrain à bâtir (souvent donnée comme la surface minimale de la parcelle d'un lotissement dans les POS ou PLU des communes)
- 1 ha : surface de 10 terrains à bâtir, surface occupé par un petit champ
- 4 ha : taille d'un petit lotissement

Pour évaluer la qualité de représentation du territoire offerte par les trois cartes raster, des statistiques ont été réalisées sur la surface des catégories d'utilisation du sol, grâce à l'outil Statistiques SQL de MapInfo (figure 7).

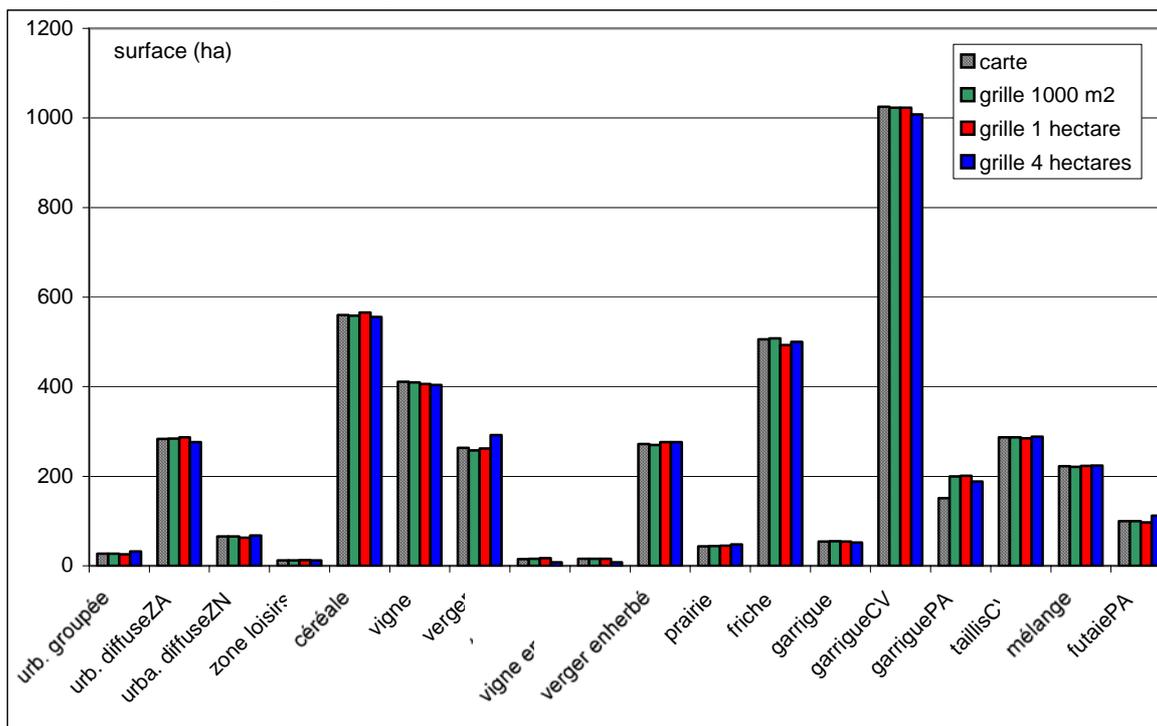


Figure 7 : statistiques des surfaces pour les catégories d'occupation du sol

Pour les mailles de 1000 m<sup>2</sup> et de 1 ha, les surfaces des diverses catégories d'utilisation du sol semblent proches de celles de la carte virtuelle, ce qui laisse penser que les cartes raster de 1000 m<sup>2</sup> et 1 ha donnent une représentation satisfaisante de la carte virtuelle. Avec la maille de 4 ha, certaines catégories sont sur-estimées (verger, futaie, village et friche), au détriment d'autres (truffière, garrigue boisée de pin d'Alep ou de chêne vert). Néanmoins, ces changements sont négligeables (30 ha de verger de plus sur un territoire de 5000 ha, soit une augmentation 0,6 %), et ne semblent pas être suffisants pour rejeter la maille de 4 ha. Les trois cartes raster et les statistiques associées ont été présentées au collectif. La maille de 1 ha, considérée comme une unité de gestion intéressante, bien que parfois un peu grande au regard du phénomène d'urbanisation, a finalement été choisie.

### 2.3.2. Le plateau de jeu

La deuxième étape du couplage SIG – SMA a consisté à mettre en en forme le fichier raster produit sous MapInfo pour qu'il soit reconnu par le logiciel Cormas, utilisé par les chercheurs ComMod pour modéliser les SMA. La procédure est la suivante : transformation au format ASCII ; tri des données (conversion des lignes en colonnes, sous Excel); ajout d'une entête au fichier « .txt », précisant les dimensions (nombre de lignes x nombre de colonnes), des caractéristiques de l'environnement, le type de voisinage (nombre de cellules voisines), et les attributs (noms des champs de la carte raster) ; et enfin transformation au format « .env », format lu par Cormas. Le voisinage de 8, qui est celui des grilles raster, n'a pas pu être gardé pour les besoins de la modélisation, et un voisinage de 6 a été adopté.

Le plateau de jeu choisi par le collectif est la carte raster de 83x69 cellules (annexe 5). La représentation de l'utilisation du sol a été collectivement approuvée dans un premier temps, mais elle a été partiellement remise en cause dans la suite du projet, au moment où les membres

du collectif ont eu la possibilité de voir la carte évoluer au cours du temps. En particulier, les surfaces couvertes par le pin d'Alep ont été jugées insuffisantes, tandis que les parcelles de vignes ont été considérées de taille excessive par rapport à la réalité. Suite à la remarque concernant le pin d'Alep, un test statistique a été mené pour évaluer les surfaces naturelles couvertes par cette espèce, recensées sur le territoire en 2000 par l'Inventaire Forestier National. Les surfaces obtenues ont été comparées aux surfaces représentées dans la carte virtuelle, en distinguant les types communaux (Statistiques SQL réalisées sur les communes de type 1, 2 ou 3 du zonage IFN ; sur les communes 1, 2 et 3 de la carte virtuelle). Les surfaces de pin d'Alep étaient effectivement sous-estimées dans la carte virtuelle par rapport au territoire décrit en 2000. En conséquence, une nouvelle carte virtuelle, comportant des surfaces naturelles ajustées par rapport à l'IFN 2000, a été réalisée, puis transformée en carte raster utilisable par Cormas.

### **3 LA MODELISATION PARTICIPATIVE**

#### **3.1 Une construction collective du modèle**

##### *3.1.1. Un collectif de personnes familières du territoire*

La conceptualisation du modèle nécessite de délimiter un environnement, des groupes sociaux pertinents à prendre en compte, et d'explicitier les perceptions des acteurs. Les chercheurs du réseau ComMod font appel à la « co-construction », alliant médiation et sollicitation des savoirs locaux pour décrire le système étudié et valider le modèle élaboré (Le Page *et al.*, 2004; Etienne, 2006; Levrel *et al.*, 2006). Le choix des personnes participant à la co-construction se fait en fonction de leur représentativité des activités existantes sur le territoire (Levrel *et al.*, 2006), pertinentes par rapport à la question en jeu. Des chercheurs, gestionnaires, ou acteurs directs (exploitants agricoles, syndicats d'irrigants...) peuvent être sollicités dans cette démarche, et le nombre de participants est variable, entre cinq et quinze personnes en général (Castella *et al.*, 2005; Etienne, 2005; Levrel *et al.*, 2006).

Pour construire un modèle portant sur la question de la prévention des incendies et de l'aménagement de l'interface habitat – forêt, appliqué aux communes du nord de la CANM, j'ai décidé de réunir des gestionnaires (CANM, DDAF), des techniciens, (Chambre d'Agriculture, SIME, CRPF, SAFER, SDIS), ainsi que des acteurs directs (maire, urbaniste, pompier), soit un total de dix personnes. Ces acteurs représentaient une activité existante sur le territoire, en lien avec la fermeture des milieux et la prévention des incendies de forêt.

Les commanditaires du projet étaient essentiels pour la construction du modèle :

- la CANM (Service Environnement), pour sa vision d'ensemble du territoire, son rôle d'animation sur les questions environnementales
- la DDAF (Service Forêt) pour sa connaissance de la politique de prévention des incendies de forêt.

Un noyau de personnes ressources, intégré au projet par les commanditaires, s'est révélé indispensable pour participer à cet exercice. Il s'agissait :

- du maire d'une des quatorze communes, par ailleurs Vice-président de la CANM. Sa vision était essentielle, car le maire, détenteur de la compétence urbanisme, est un acteur majeur du processus de décision, et le jeu de rôles lui est destiné
- d'un urbaniste (cabinet privé), pour son rôle dans l'aménagement urbain du territoire
- d'un technicien du Service Aménagement de la Chambre d'Agriculture, pour sa connaissance des activités agricoles

Sur la base des entretiens réalisés pour identifier les activités utilisatrices du territoire, d'autres personnes ont été sollicitées :

- un technicien du SIME : pour son expertise ciblée sur les activités d'élevage, les opportunités de redéploiement pastoral
- un technicien de l'ONCFS, pour sa connaissance sur les activités de chasse, bien représentées dans cette zone et pouvant participer à une ouverture des milieux
- un technicien du CRPF : les forestiers privés ne réalisent pas de travaux majeurs dans la forêt, mais le CRPF pourrait avoir une connaissance implicite des interventions non déclarées des propriétaires privés.
- un ingénieur de la SAFER : pour sa connaissance des transactions foncières réalisées en milieu naturel et agricole, pouvant donner une idée de la dynamique d'enfrichement
- un capitaine des pompiers du SDIS : sa vision de la gestion du risque diffère de celle de la DDAF, car il se focalise sur la défense des biens et des personnes, au détriment de la protection de l'espace naturel.

L'ONF, gestionnaire de la forêt soumise communale mais qui n'intervient pratiquement pas dans le massif forestier, hormis pour des opérations DFCI, n'a pas été intégré au collectif, malgré la demande de la CANM.

La réunion de co-construction a été organisée dans les locaux de la CANM (21/06/06), lieu qui semblait légitime dans la mesure où cette intercommunalité représente le territoire dans son ensemble, et constitue une structure neutre. Le rôle d'animateur était tenu par Michel Etienne, ce qui m'a permis d'avoir un rôle d'observateur.

### *3.1.2. La conceptualisation du modèle*

#### **Les principes de conceptualisation**

Le modèle a été construit de façon progressive, basé sur un aller-retour entre discussion collective et codage informatique. Trois versions du modèle, baptisé NimetpasseFeu (jeu de mots « Pas de Feu à Nîmes » et « n'y met pas le feu »), ont successivement été élaborées :

- *version 0* : prototype du modèle, anticipant les règles données par le collectif, et permettant de montrer aux acteurs le principe de fonctionnement de la modélisation
- *version 1* : version élaborée à partir des données du collectif (21/06/06)
- *version 2* : version corrigée et enrichie de la version 1, suite à la présentation de la version 1 au collectif (réunion du 12/07/06)

L'exercice de co-construction s'est déroulé autour de questions simples, auxquelles le collectif a été invité à répondre :

- quelles sont les principales ressources du territoire ?
- quels sont les principaux acteurs qui semblent pouvoir ou devoir jouer un rôle décisif dans la gestion de ce territoire ?
- quelles sont les principales dynamiques écologiques en jeu ?
- comment chaque utilisateur retenu utilise les ressources qu'il convoite ?

Les réponses à ces questions ont été formalisées sous la forme des quatre diagrammes acteurs/ressources/ dynamiques/ interactions (méthode ARDI), faciles à comprendre et aisément traduisibles en langage informatique (Etienne, 2005; Etienne, 2006; Levrel *et al.*, 2006). Ces diagrammes ont été élaborés sur la base des informations fournies par le collectif au cours de tours de table. Projetés sur un écran, ils ont été complétés au fur et à mesure que les propositions émises étaient validées par le reste des participants. L'exercice s'est fait sur une durée limitée, les tours de table permettant de répartir le temps de parole de manière équitable entre les participants.

## Les ressources, les acteurs et les dynamiques

La première phase du projet ayant porté sur l'analyse du territoire, nous avons fait l'hypothèse que les différentes catégories d'utilisation du sol identifiées au cours de cette étape correspondaient aux ressources à prendre en compte dans le modèle. Les catégories d'utilisation du sol avaient été validées par les partenaires du projet, en même temps que la carte virtuelle. Le **diagramme des ressources** n'a donc pas été réalisé au cours de cet exercice et les ressources ont été ajoutées sur le diagramme des acteurs. A cette étape, la terminologie adoptée pour décrire les catégories urbaines a été modifiée pour la rendre plus explicite. Les ressources finalement approuvées par le collectif étaient les suivantes : urbanisation groupée, urbanisation diffuse en zone agricole, urbanisation diffuse en zone naturelle, céréale, vignes, vergers, truffière, friche, garrigues, taillis et futaie. Elles correspondent aux types « bâti » et « végétal », deux catégories habituellement utilisées pour l'élaboration du diagramme des ressources, qui peut également comporter « eau », « pierre », et « animal » (Etienne, 2005; Etienne, 2006).

Le **diagramme des acteurs** permet de lister l'ensemble des acteurs présents sur le territoire en différenciant les acteurs directs (dont les pratiques ont un effet direct sur la dynamique de certaines ressources du milieu) des acteurs indirects (dont les actions vont encourager les acteurs directs à changer de pratique) (Etienne, 2006). Les **acteurs** mentionnés par le collectif, au cours de deux tours de table, sont présentés figure 8.

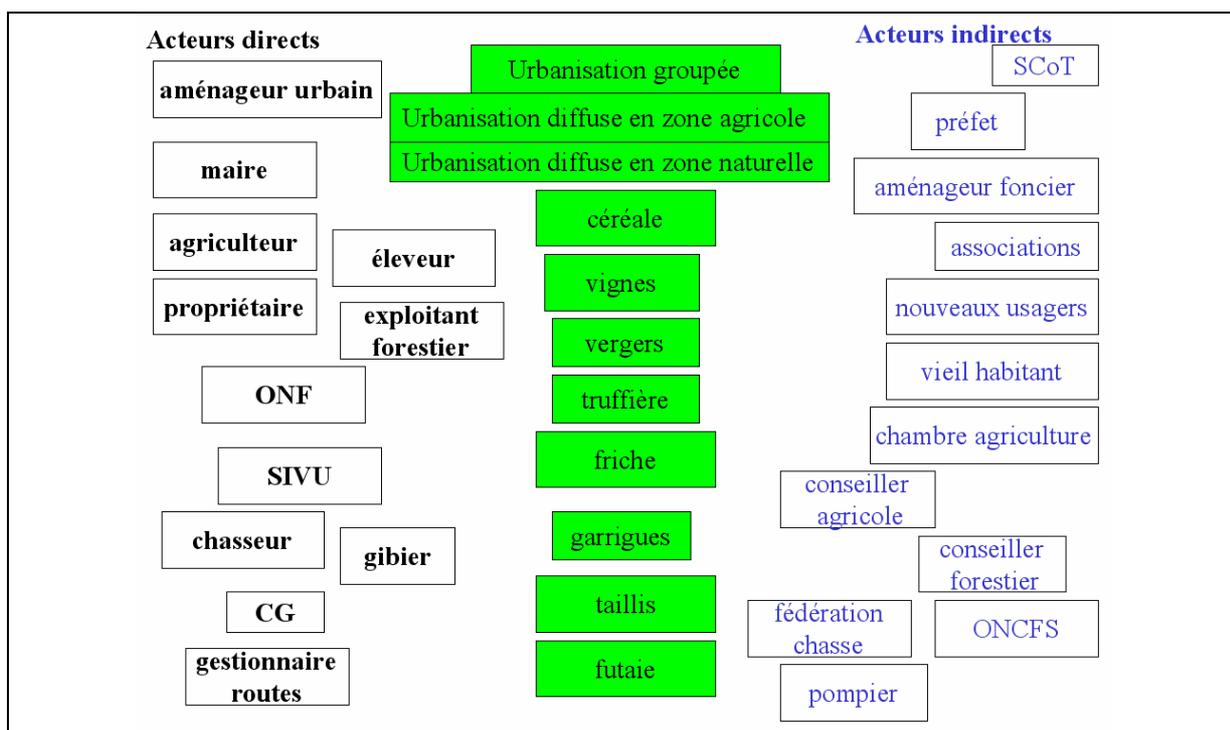


Figure 8 : diagramme des acteurs (Les acteurs directs sont figurés en noir, les acteurs indirects en bleu, les ressources en vert au centre)

Parmi les acteurs directs, l'« aménageur urbain » sous-entend l'ensemble des aménageurs (service public et promoteur privé), s'occupant d'aménager l'espace urbain ; « ONF » le forestier gérant la forêt soumise communale, intervenant dans les aménagements DFCI et la surveillance du massif ; « gibier », le grand gibier, faisant des dégâts dans l'espace naturel. Le « CG » regroupe le Conseil Général et la Direction Départementale de l'Équipement, qui travaille pour lui. « SCoT » correspond aux élus donnant, au travers de ce schéma, les grandes orientations de développement du territoire.

Classés indirects, l'« aménageur foncier » regroupe les acteurs s'occupant de l'aménagement du territoire en zone agricole (SAFER, compagnie du Bas-Rhône-

Languedoc...) et « associations » les habitants qui engagent des campagnes de sensibilisation, et opérations diverses pour préserver leur environnement. « Les nouveaux usagers » se situent entre simples citoyens et touristes, et pratiquent une activité de loisirs dans l'espace naturel (randonnée, VTT, quad). Le « vieil habitant » représente la mémoire des usages traditionnels du milieu, qui permettaient de mieux le gérer. L'acteur « chambre agriculture » est distingué du conseiller agricole pour son rôle dans l'organisation de la PAC.

L'énumération de toutes les relations existant entre acteurs a ensuite permis de faire le tri sur le statut direct ou indirect des acteurs et d'apporter d'éventuelles corrections (deux tours de table). Au début de la réunion, le SCoT, le préfet et l'aménageur foncier avaient été décrits comme acteurs directs, et leur statut a été modifié par la suite.

La définition des acteurs de l'aménagement a suscité un débat intéressant : un point de vue était de distinguer deux acteurs directs, l'« aménageur » (remplissant une mission de service public), et le « promoteur » (poursuivant son intérêt privé), tandis qu'un autre point de vue était de ne conserver que l'acteur « aménageur », avec l'argument que la distinction précédente ne correspond qu'à une idée reçue mais n'est pas fondée dans la réalité.

Finalement, ce débat a été résolu en distinguant deux acteurs : « aménageur urbain » et « aménageur foncier », déplaçant la distinction initiale intérêt privé - intérêt général, vers celle de milieu urbain - milieu rural. Toutefois il a été décidé que l'aménageur rural n'a pas un impact direct sur le problème du risque incendie : la SAFER réalise des transactions foncières sur des biens existants, la compagnie BRL intervient surtout sur la partie de plaine. Les seules interventions ayant des conséquences sur le risque incendie pourraient être la mise en place d'équipements de loisirs, face à la demande des « nouveaux usagers ». Ce rôle n'a pas été considéré comme décisif par rapport à la réflexion souhaitée sur les incendies et l'aménageur foncier n'a pas été conservé dans le diagramme d'interactions.

Deux visions sont apparues pour caractériser la relation entre l'aménageur urbain et le maire : soit l'aménageur était vu comme une sorte de groupe de pression, cherchant à construire, et exerçant son influence sur le maire (vision du maire), soit le maire était jugé comme maître de l'urbanisation sur son territoire, mandatant l'aménageur pour construire (vision de l'urbaniste). C'est cette dernière vision qui a été choisie pour le modèle, le maire gardant la main pour l'urbanisation de sa commune.

Le **diagramme des dynamiques** se concentre souvent sur les dynamiques écologiques, végétales ou animales (Etienne, 2006), mais pour ce modèle, il était indispensable de pouvoir également prendre en compte l'urbanisation et il a été demandé de citer l'ensemble des « processus » jugés pertinents par rapport à la question posée (monétaire, biologique,...). Quelques règles permettant de caractériser de manière simple les processus en jeu ont été données, et une simulation permettant de visualiser l'évolution du territoire sur une période de 30 ans en fonction de ces règles a été présentée, sur la base du prototype simplifié du modèle, élaboré au préalable.

Les processus mentionnés par le collectif (un tour de table) concernent « la politique agricole commune », « la valeur du foncier », « la dynamique du sanglier », « la dynamique de la perdrix, du lapin, du lièvre », « l'embroussaillage », « la dynamique du pin d'Alep », « le développement urbain » (regroupant développements démographique et économique), « le développement d'activités de loisirs », « la déprise agricole », « l'aménagement DFCI », et « le changement climatique ». Le « redéploiement pastoral » et la mise en valeur du « patrimoine bâti » ont également été évoqués, mais il a été convenu qu'ils seraient intégrés dans le modèle en tant qu'opportunités de développement, car peu développées à l'heure actuelle.

La « PAC », ainsi que « la valeur du foncier », ont dans un premier temps été laissées de côté, mais l'impact de l'arrêt de la PAC à l'horizon 2010 pourrait être particulièrement intéressant à prendre en compte. Il a été décidé de ne pas considérer la dynamique du gibier comme un processus en tant que tel, mais plutôt comme une conséquence de la fermeture du milieu (pour le sanglier) ou à contrario de son ouverture (pour le petit gibier). Toutefois aucune donnée n'a été avancée permettant de quantifier l'évolution des populations de gibier résultant du processus d'ouverture/fermeture du milieu. Les dynamiques du pin d'Alep et d'embroussaillage ont été intégrées dans le modèle sur la base des travaux de recherche de Michel Etienne (cf. paragraphe 3.2.2).

Quelques règles ont été énoncées collectivement pour expliciter les processus liés à l'urbanisation, aux activités agricoles et aux aménagements DFCI. Ainsi, le « **développement urbain** » concerne les friches, à l'aval et à l'amont des stations d'épuration ; il s'effectue autour des routes puis entre deux routes ; il participe à combler les « trous », les « dents creuses » laissées à proximité des zones déjà urbanisées ; et il s'effectue hors zone protégée (zone AOC ou inondable). Pour caractériser la « **déprise agricole** », un pourcentage de 30% de viticulteurs en difficulté a été évoqué, et l'abandon agricole se fait préférentiellement autour des zones urbanisées. La description de la « **relance agricole** » est restée qualitative : maintien de l'olivette, quelques truffières, possibilité de manades sur les garrigues loin de l'urbanisation.

### Les interactions

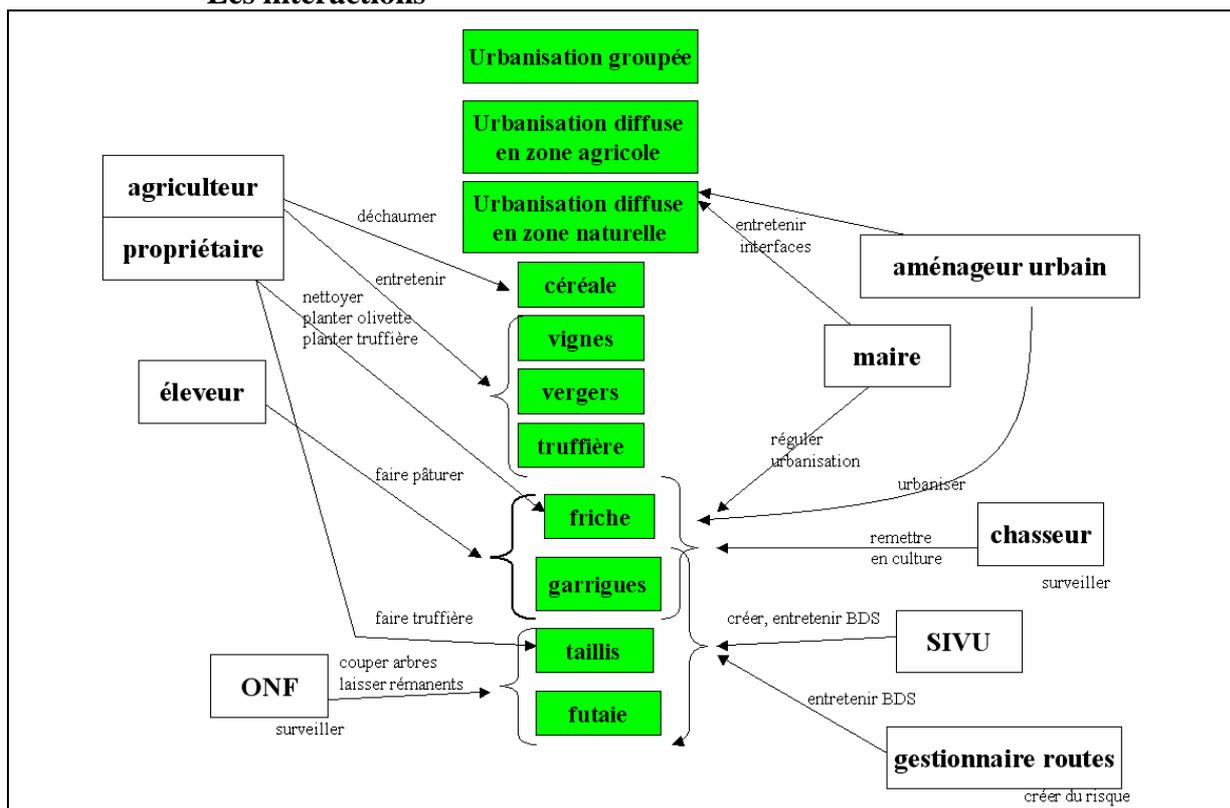


Figure 9 : diagramme des interactions

Le **diagramme des interactions** (figure 9) fait la synthèse des précédents en mettant l'accent sur **l'articulation entre usagers et ressources**. Les flèches symbolisent les interactions entre acteurs et ressources ou entre acteurs à propos des ressources. Elles sont associées à des verbes qui précisent le type d'action qui génère l'interaction (Etienne, 2006). Les actions ont été évoquées au cours d'un premier tour de table, un deuxième tour de table ayant permis d'ajouter des interactions, ou à contrario de retirer des acteurs n'ayant pas de rôle.

Le CG, l'exploitant forestier et le gibier, évoqués à l'élaboration du diagramme des acteurs n'ont pas été pris en compte par soucis de simplification.

Dans un premier temps, seules les interactions pour lesquelles des règles suffisamment concrètes avaient été avancées par le collectif ont été intégrées au modèle, permettant de proposer une première version au collectif (*version 1*, présentée le 12/07/06). Elle prend en compte l'urbanisation, réalisée de manière conjointe par le maire et l'aménageur urbain, l'entretien (ou le non-entretien) des parcelles de céréales, vignes, vergers par l'agriculteur. Au cours de la confrontation du collectif avec la *version 1* du modèle, d'autres règles ont été discutées. Il a été choisi d'introduire le pâturage des friches par les chevaux de loisirs (évoqué au cours de la co-construction, mais non inscrit sur le diagramme des interactions) en prenant un nombre de chevaux proportionnel à la population, ce qui est cohérent avec le fait que ces chevaux sont détenus par des particuliers. Les activités « planter olivette », « planter truffière », « faire pâturer » ont été reconnues peu représentatives du territoire.

Néanmoins, certaines activités seraient particulièrement intéressantes à développer en regard de la prévention des incendies de forêt et pourraient être introduites dans le modèle pour susciter une réflexion sur l'opportunité de les développer. Ainsi, le collectif a choisi de « faire pâturer » des ovins, caprins et bovins (camarguais) sur le territoire et il a été proposé de collecter des informations sur les conditions d'installation de ces élevages. Pour porter ces activités agricoles face à l'acteur maire, il a été décidé d'introduire un acteur « communauté d'agglomération » dans le modèle, sorte de centre de ressources, qui posséderait les informations techniques nécessaires à connaître pour l'installation de ces activités. On a fait l'hypothèse que la communauté d'agglomération aura rassemblé les informations techniques nécessaires au préalable, mais ce raccourci permet d'introduire l'intercommunalité dans le jeu de rôles, et de le confronter avec le maire. « Planter olivette » et « planter truffière » n'ont pas été jugées comme des activités importantes à prendre en compte car elles correspondent à de petites surfaces, et leur impact n'est pas considérable par rapport à l'enjeu de prévention des incendies.

Les coupures de combustible, aujourd'hui peu visibles sur le terrain, constituent des aménagements efficaces pour la prévention des incendies. Leur prise en compte dans le modèle, dans l'optique d'une réflexion sur les possibilités d'amélioration de la situation actuelle, a par conséquent été jugée particulièrement intéressante. Le tracé d'une grande coupure verte, qui pourra être prédéfinie dans le plateau de jeu, a été proposé (annexe 7). Sur la coupure, des incitations dont les modalités sont encore à réfléchir pourront être faites pour que la friche repasse dans l'espace agricole. Le collectif a précisé que les interfaces aménagées pour la prévention des incendies se trouvent toujours à l'intérieur des lotissements. Enfin, la création d'une nouvelle route, aménagement bouleversant considérablement le milieu a également été jugée importante à intégrer. Son tracé pourra être prédéfini dans le plateau de jeu.

## **3.2. La formalisation du modèle**

### *3.2.1. L'organisation du modèle*

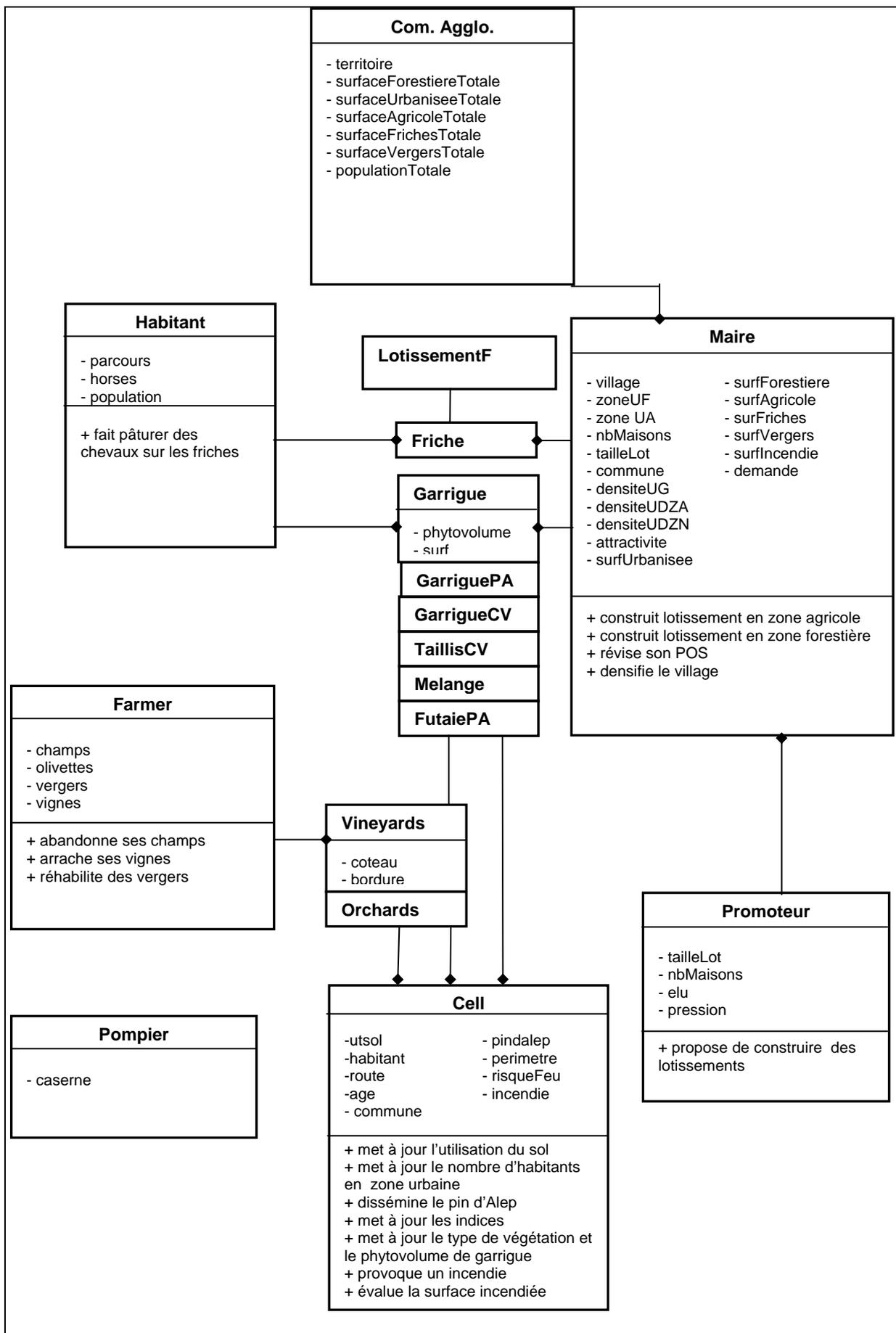


Figure 10 : le diagramme de classe de NîmetPasLeFeu

Les règles énoncées par le collectif pour construire le modèle ont été codées informatiquement grâce à l'outil Cormas, une plate-forme de simulation basée sur le langage orienté objet Smalltalk, développée pour faciliter la construction de modèles multi-agents dans le domaine de la gestion des ressources naturelles (Etienne *et al.*, 2003).

L'environnement de simulation Cormas a permis de créer :

- des « entités spatiales », dont les interactions de voisinage peuvent modéliser des processus écologiques dynamiques, grâce à un support spatial de type automate cellulaire (grille de cellules dont l'état évolue au cours du temps).
- des « entités sociales », les « agents », qui représentent les parties prenantes clés du système étudié (Le Page et Bommel, 2005).

Les entités, les attributs les caractérisant et le type de procédures qu'elles exécutent sont présentés dans le diagramme de classe (figure 10).

L'entité spatiale de base est la cellule, « cell », caractérisée par des attributs dont les valeurs ont été importées avec le fichier raster (utilisation du sol, habitant, route, nouvelle route, commune, perimetre) ou calculées sous Cormas (ancienne utilisation du sol, age, pindalep, risqueFeu, incendie). Une procédure de mise à jour appliquée à la cellule (majUtsol) a permis de retranscrire les catégories d'occupation du sol correspondant aux codes numériques contenus dans le fichier d'importation. Le plateau de jeu initial a pu être visualisé par la création d'un point de vue (choix des couleurs pour représenter les catégories d'utilisation du sol). La représentation des surfaces agricoles adoptée dans le SIG a été modifiée, car seuls des figurés pleins étaient disponibles pour les points de vue.

Plusieurs types de processus ont été associés à l'entité spatiale cell grâce à l'automate cellulaire: des processus de croissance (évolution de la population, mise à jour de la végétation et du phytovolume) et des processus de diffusion (dissémination du pin d'Alep, propagation des incendies). Un niveau supplémentaire dans l'organisation de l'espace a été obtenu en créant des entités spatiales de type agrégat: Friche, Garrigue, GarrigueCV, GarriguePA, Melange, TaillisCV, FutaiePA, Vineyards, Orchards, LotissementF regroupent des cellules contiguës dont l'utilisation du sol est respectivement friche, garrigue, garrigue boisée de chêne vert, garrigue boisée de pin d'Alep, mélange, taillis de chêne vert, futaie de pins d'Alep, vigne, verger, urbanisation diffuse en zone naturelle.

Les entités sociales créées correspondent aux agents Promoteur, qui propose la construction de lotissements ; Maire, construisant des lotissements, densifiant le village, ou révisant son POS ; Com. Agglo. (la communauté d'agglomération), qui informe le maire sur les activités agricoles ; Farmer (l'agriculteur), qui abandonne ses champs, arrache des vignes, et réhabilite des olivettes ; Habitant qui fait pâturer des chevaux sur des friches. L'acteur Pompier a simplement été situé dans l'espace (sa caserne se trouve dans la commune 3).

La question du pas de temps n'a pas été abordé explicitement lors de la co-construction du modèle, comme cela se fait habituellement (Etienne, 2006), faute de temps. Toutefois, les partenaires du projet avaient formulé le souhait que le jeu de rôles simule en quelque sorte la phase de révision d'un PLU. Comme il s'agit d'un document de planification pluri-annuelle, le pas de temps d'une année semblait adapté pour notre modèle. Le choix d'un tel pas de temps dans SYLVOPAST avait montré sa pertinence pour représenter des dynamiques naturelles, et susciter une réflexion sur les aménagements à but DFCI (Etienne, 2003).

### 3.2.2. Les règles de décision

#### Les critères concernant les dynamiques naturelles

##### Processus de croissance

Le changement d'état de la végétation a été modélisé à partir des successions végétales des milieux de garrigues établies par la recherche en écologie (Dureau *et al.*, 2003). Etant donné qu'il y a peu d'interventions forestières dans le massif des Garrigues de Nîmes, le feu constitue le principal élément perturbateur du milieu. L'âge des peuplements forestiers est très hétérogène et obéit aux lois de la régénération naturelle (source : ONF). Des règles ont donc été imaginées pour affecter un âge aux cellules naturelles:

- l'âge du taillis de chêne vert a été choisi égal à celui de la cépée depuis la dernière coupe, les racines de la cépée pouvant atteindre facilement quant à elles plusieurs centaines d'années (Ducrey, 1996). Sur ce territoire, il s'agit d'un taillis vieillissant, n'ayant pas subi beaucoup de coupes depuis la seconde guerre mondiale (données DDAF, ONF). Ainsi l'âge des cellules de taillis de chêne vert a été fixé aléatoirement entre 50 et 70 ans.

- l'âge atteint par un peuplement de pins d'Alep pour prendre un aspect de futaie dépend de la fertilité de la station forestière sur laquelle il pousse : dix ans sur des sols moyennement fertiles, 25 ans pour des stations peu fertiles (hypothèse : le peuplement ressemble à une futaie lorsque les pins dépassent 5 m) (Abbas, 1986). De plus, les peuplements de pin d'Alep n'atteignant généralement pas plus de 50 ans d'après les dires de l'ONF, (quelques individus de 70 ans exceptionnellement présents), on a affecté aux cellules arborées de pin d'Alep un âge variant aléatoirement entre 10 et 50 ans sur la partie plaine (futaie de pin d'Alep), entre 25 et 50 ans sur la partie garrigue (garrigue boisée de pin d'Alep, futaie de pin d'Alep, mélange).

- l'âge des friches et des garrigues, qui constituent des stades écologiques antérieurs à celui de la futaie de pin d'Alep a été fixé entre 0 et 10 ans pour les friches (plaine agricole moyennement fertile), entre 0 et 25 ans pour les garrigues (garrigues peu fertiles).

Les changements d'état de la végétation, codés en SmallTalk dans la procédure majVeg sont schématisés dans la figure 11.

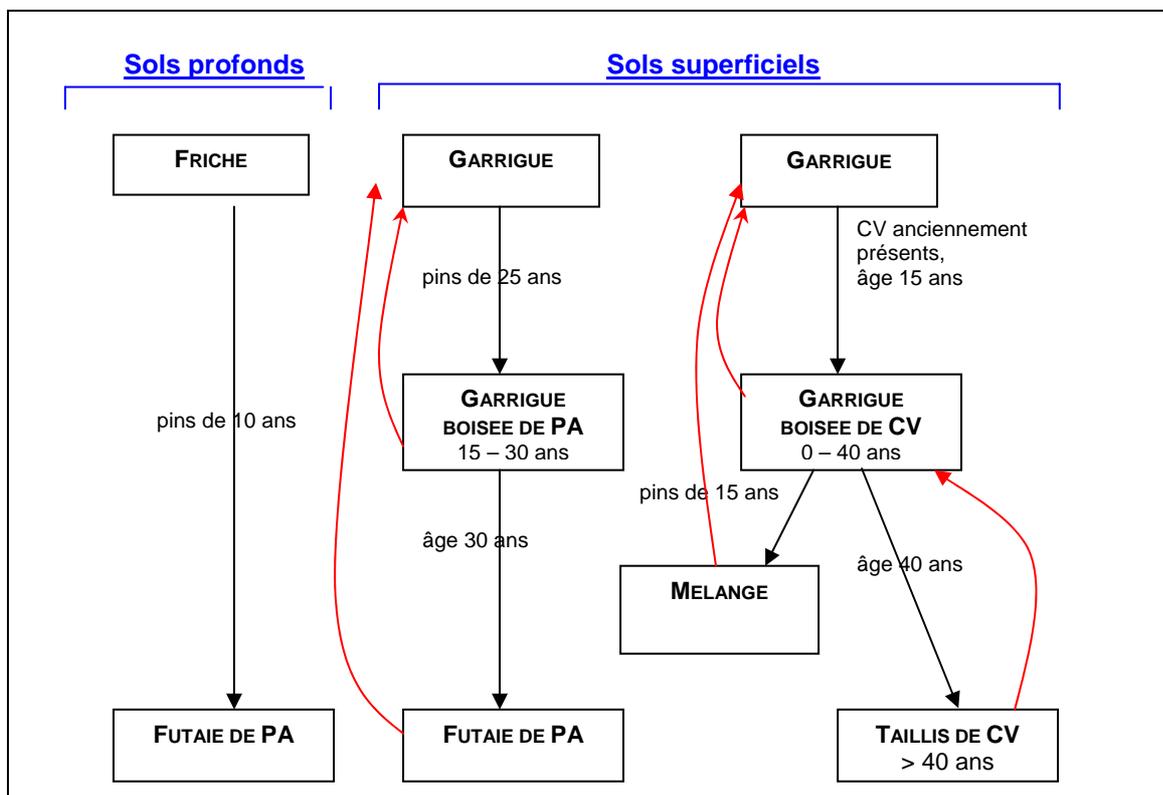


Figure 11 : les changements d'état de la végétation dans le modèle

### *Processus de diffusion.*

Les processus de diffusion, dissémination et propagation des incendies, ont été modélisés selon le même principe que dans le modèle SYLVOPAST, développé par Michel Etienne. La qualité de la représentation du phénomène de diffusion est améliorée avec un voisinage de 6, car il permet d'avoir une structure spatiale où les côtés des cellules contiguës conservent la même longueur dans toutes les directions du voisinage.

La dissémination des pins d'Alep tient compte de la direction du vent : les cellules de friches, garrigue, garrigue boisée de chêne vert, verger enherbé ou vigne enherbée, qui sont situées à proximité de cellules boisées de pins d'Alep dans les directions nord, nord-est et est, sont susceptibles d'être envahies par du pin d'Alep. La probabilité d'envahissement est relativement forte : elle a été fixée à 70 %.

La propagation des incendies a été modélisée en affectant un coefficient de risque de propagation, variant entre 0 pour un risque nul, et 3 pour un risque très élevé, à chaque cellule (attribut fireRisk). Pour la zone naturelle, le coefficient de risque est fonction du nombre de strates végétales : un nombre de strates important accroît en effet la continuité verticale de la végétation et augmente le risque de propagation des incendies (Dureau *et al.*, 2003). Une cellule de garrigue par exemple, composée d'une strate herbacée et d'une strate arbustive, se caractérise par un risque incendie de 2. Pour la zone agricole, le risque d'incendie oscille entre 0 pour toutes les parcelles entretenues (vignes et vergers), et 1 pour les cellules occupées par des céréales (pas de déchaumage réalisé selon le collectif) ou présentant une strate herbacée importante : prairie, vigne et verger enherbés.

La possibilité de propagation des incendies par le biais des jardins étant très faible dans les zones très urbanisées, un risque de 0 a été choisi pour l'urbanisation groupée et l'urbanisation diffuse en zone agricole. On a fait l'hypothèse que la végétation naturelle située à proximité des habitations était débroussaillée, et que l'on trouve un risque de 1 pour l'urbanisation diffuse en zone naturelle.

La modélisation de la propagation du feu de cellules en cellules est fonction de la direction du vent dominant (direction N-N-E, validée par le collectif). L'éclosion est déclenchée aléatoirement tous les 15 ans dans une cellule de la carte (attribut « en feu ») située dans l'espace naturel à proximité d'une route.

## **Les critères concernant les activités anthropiques**

### *Urbanisation*

L'urbanisation a été modélisée par un processus de diffusion (extension de l'urbanisation diffuse en zone agricole et de l'urbanisation diffuse en zone naturelle) et par un processus de croissance (densification de l'habitat dans l'urbanisation groupée). A la différence d'un processus écologique, modélisé par l'automate cellulaire, elle est liée à une prise de décision d'un ou de plusieurs agents. L'hypothèse a été faite que la décision d'urbanisation se faisait par rapport au critère du nombre d'habitants et un attribut de densité de population a été affecté aux différentes catégories urbaines (urbanisation groupée, urbanisation diffuse en zone agricole, urbanisation diffuse en zone naturelle). Des données précises concernant la densité de population des catégories urbaines identifiées n'étant pas disponibles, la densité a été estimée sur la base des dires du collectif et grâce à l'observation des photographies aériennes, en déterminant le nombre de logements, ramenés à un équivalent habitants en prenant une moyenne de 3 habitants/logements (A.U.D.R.N., 2004).

A l'état initial, la densité de population varie aléatoirement de 40 à 45 habitants/ha pour l'urbanisation groupée, de 21 à 45 habitants / ha pour l'urbanisation diffuse en zone agricole, de 3 à 21 habitants / ha pour l'urbanisation diffuse en zone naturelle. Selon le collectif, si ces densités étaient encore la règle il y a peu, on aurait aujourd'hui un phénomène de densification de l'habitat. Aussi, pour les nouvelles constructions se mettant en place sur le territoire, les

densités de population ont été choisies plus fortes entre 45 et 60 habitants/ ha pour l'urbanisation diffuse en zone agricole, et entre 30 et 45 habitants /ha pour l'urbanisation diffuse en zone naturelle.

L'urbanisation a été modélisée en essayant de restituer le plus fidèlement possible ce qui avait été décrit au cours de la co-construction. Seul le processus d'extension de l'urbanisation diffuse sera décrit dans ce rapport. La séquence d'urbanisation écrite en formalisme logique est présentée en annexe 8.

L'aménageur urbain est sensible à une pression urbaine (le « marché » correspond à 50 à 100 demandes de logements par an sur l'ensemble du territoire), et la répercute sous la forme d'une demande au maire. La pression urbaine exercée sur les communes de Nîmes Métropole serait telle, que les facteurs d'attractivité (caractère rural, importance de la zone naturelle) ne rentreraient pas en ligne de compte pour l'achat d'un terrain. Par contre, des communes ayant un pôle urbain de taille importante seraient celles qui s'urbanisent le plus. Ainsi, la demande urbaine a été modulée par un coefficient d'attractivité (« attractivite »), fonction de la surface urbanisée de chaque commune (surfUrbanisee).

L'extension de l'urbanisation diffuse a été modélisée en affectant les attributs zoneUA et zoneUF au maire. Il s'agit de collections de cellules, dont l'utilisation du sol est :

- de la friche (les « friches spéculatives »), situées au contact de la zone urbanisée (attribut isUrban regroupant les trois catégories urbaines), en zone non inondable
- de l'espace naturel (attribut isNatural regroupant garrigue, garrigue boisée de chêne vert, garrigue boisée de pin d'Alep, taillis de chêne vert, mélange ou futaie de pin d'Alep), situé au contact de la zone urbanisée (on a fait l'hypothèse que l'espace naturel n'est pas inondable, car il correspond à une situation de collines et plateaux).

La modélisation des zones urbanisables, introduite avec les attributs zoneUA et zoneUF, est cohérente avec la localisation des zones urbanisables figurant dans les POS/PLU de six communes (il est cependant à noter que la zone urbanisable se trouve rarement en extension d'un lotissement dans le milieu naturel), et a été validée par le collectif au cours de la co-construction. Dans le modèle, le Maire va étendre dans un premier temps la zone d'urbanisation diffuse en zone agricole. Tant que la zoneUA contient des cellules non urbanisées, il va faire construire une surface de nouveaux lotissements proportionnelle à la demande de logements sur sa commune (n habitations = demande/ densité de logements, fixée entre 15 et 20 logements/ ha). L'état des cellules est modifié, l'attribut utilisation du sol passant de friche à urbanisation diffuse en zone agricole. Cette action du maire est codée en SmallTalk dans la procédure « UrbanizeFields »:

```

| noyau temp cpt |
  self nbMaisons: 15 + (Cormas random * 5) rounded.
  self tailleLot: (self demande / self nbMaisons) rounded.
  self zoneUA isEmpty ifTrue: [self revisePOS]
  ifFalse:
    [self zoneUA: (self zoneUA asSortedCollection: [:a :b | (a neighbourhood select: [:v | v isUrban]) size
    > (b neighbourhood select: [:v | v isUrban]) size)].
  noyau := self zoneUA first.
  self zoneUA remove: noyau.
  noyau habitant: self nbMaisons * 3.
  noyau utsol: #lotissementA.
  cpt := (self tailleLot - 1).
  [cpt > 0] whileTrue:
    [temp := noyau neighbourhood detect: [:c | c utsol = #riche and: [c habitant = 0]] ifNone: [cpt := 0].
    cpt > 0 ifTrue:
      [temp habitant: self nbMaisons * 3.
      temp utsol: #lotissementA.
      (self zoneUA includes: temp) ifTrue: [self zoneUA remove: temp].
      cpt := cpt - 1]].

```

Si la collection de cellules zoneUA a été entièrement couverte par l'urbanisation diffuse en zone agricole, alors une procédure de « révision du POS » est assurée par l'acteur Maire (procédure « RevisePLU »). Une réactualisation de la zoneUA est effectuée, ce qui permet de prendre en compte toutes les cellules de friches situées sur le pourtour de la zone urbaine nouvellement constituée, non inondables, auparavant non accessibles.

Si la zoneUA ne contient pas toujours pas suffisamment de cellules pour accueillir la surface à lotir, alors le Maire va étendre la zone d'urbanisation diffuse en zone naturelle. L'extension de l'urbanisation en zone naturelle a été modélisée suivant le même principe que l'urbanisation diffuse en zone agricole. Toutefois, la densité lotie est moindre (10 à 15 logements/ha), et l'utilisation du sol finale est de l'urbanisation diffuse en zone naturelle.

Cette vision du contexte de révision du PLU semble cohérente avec celle donnée par les partenaires du projet, qui avaient affirmé que ces documents sont réactualisés en « fonction de la poussée de l'urbanisation ».

### *Les pratiques agricoles*

Deux types de dynamiques agricoles jugées pertinentes à prendre en compte par rapport au risque incendie ont été modélisés : l'entretien (ou le non entretien) des champs cultivés, l'abandon des terres agricoles. Elles sont portées par un seul agent, Agriculteur, qui détient toutes les cellules à vocation agricole du territoire. Le jeu de rôles étant avant tout orienté vers les maires, il ne paraissait en effet pas indispensable de différencier plusieurs acteurs agriculteurs. L'attribut FireRisk, attribué à la cellule, permet de rendre compte de l'entretien des cellules occupées par des céréales. Le déchaumage n'est pas une pratique répandue sur le territoire réel ; en conséquence, le risque d'incendie de ces parcelles couvertes de chaumes est fort après récolte, en pleine période estivale. Un risque d'incendie de 1, affecté à toutes les parcelles dont l'utilisation du sol est en céréale rend compte de cette absence de pratique.

La modélisation de l'activité agricole est à l'image de son faible dynamisme sur le terrain. L'agriculteur va chaque année abandonner 30 % des cellules de céréales, situées au contact de l'urbanisation diffuse en zone agricole ou naturelle. L'utilisation du sol de ces cellules va alors passer de céréale à friche. La déprise de la viticulture est modélisée de manière à différencier deux situations, viticulture de plaine et viticulture de coteau. L'attribut « coteau » a été affecté aux agrégats Vineyards pour identifier ceux dont le pourtour se trouve dans l'espace naturel, qui représentent les vignobles de coteau. L'attribut bordure permet de sélectionner les agrégats Vineyards situés au contact d'une zone urbaine. L'acteur agriculteur va arracher 30% des cellules de Vineyards, situées en plaine (attribut coteau = 0), en bordure de zone urbaine (bordure = 1). D'après le collectif, toutes les vignes seraient systématiquement arrachées, et non pas abandonnées, du fait de la prime PAC, délivrée sous condition d'arrachage.

De plus, deux destinations pour l'utilisation du sol des cellules de Vineyards arrachées, suivant leur localisation, ont été distinguées : lorsque les cellules se trouvent au contact de l'urbanisation diffuse en zone agricole, l'utilisation du sol devient de friche, par contre, lorsque les cellules se trouvent loin de l'urbanisation diffuse en zone agricole, l'utilisation du sol passe à céréale. Pour éviter de faire disparaître un agrégat de Vineyards en une seule fois, ce qui est apparu peu réaliste au collectif, étant donné la taille importante des agrégats, une collection de cellules de vigne a été créée (« parcelle »), permettant d'arracher les vignes par tranches successives (de 1 à 10 ha).

L'abandon des vergers concerne tous les vergers situés en bordure de zone urbaine (attribut bordure = 1), dont l'utilisation du sol passe alors de verger enherbé à verger.

Lors de la phase de construction collective du modèle, le chiffre de 30% de viticulteurs en difficulté avait été avancé. Il a été repris pour caractériser le taux d'abandon des vignes, mais également pour celui des céréales. Il est à noter que ce chiffre est peut être très éloigné de la

réalité, même pour décrire l'abandon des vignes, car le pourcentage d'agriculteurs ne correspond sans doute pas au pourcentage des surfaces (peut être les 30% d'agriculteurs détiennent ils 10% des vignes ?). Néanmoins, ne disposant pas de données précises sur ce thème, le taux de d'abandon a été fixé dans un premier temps à 30%, puis des tests ont été effectués avec des taux différents.

Le modèle a également pris en compte l'entretien du milieu, relancé sur certaines zones agricoles, en particulier à l'interface avec les zones naturelles combustibles. Parmi les attributs de l'Agriculteur, l'attribut « olivettes » rassemble les cellules occupées par des vergers enherbés, et entourés d'espace naturel (attribut « olivettes »). L'acteur Agriculteur réhabilite chaque année entre 2 et 5 cellules d'olivettes, dont l'utilisation du sol passe de verger enherbé à verger.

### **3.3 Fonctionnement du modèle et articulation avec le jeu de rôles**

#### *3.3.1 Les séquences du modèle*

Dans le modèle, au cours d'une simulation, le séquenceur Cormas va déclencher une série de procédures informatiques, présentées en annexe 9.

Certaines procédures sont déclenchées directement par le séquenceur de Cormas : c'est le cas de la mise à jour de l'utilisation du sol, de la densité de population, de la végétation et du phytovolume arbustif de la garrigue ; de la dissémination des Pins d'Alep ; de la mise à feu dans une cellule tous les quinze ans.

Mais le séquenceur peut appeler les différentes entités sociales ou agents, qui déclenchent à leur tour une ou des procédure(s). Ainsi, le séquenceur active l'agent Farmer, qui effectue les procédures majCrops, abandonChamps, affectant les cellules ; arrachageVignes, sur les agrégats Vineyards et rehabilitationVergers sur les agrégats Orchards. Une cascade de procédures apparaît pour l'urbanisation : le séquenceur active l'acteur Promoteur, qui exécute la procédure proposeHouselot à destination du maire. Celui-ci répond à la sollicitation du Promoteur, par l'action urbanizeFields, exercée sur les agrégats de cellules Friches. Cette procédure qui peut être éventuellement poursuivie par revisePOS, permettant de boucler de nouveau sur UrbanizeFields, ou d'ouvrir sur une nouvelle procédure, UrbanizeForest, qui s'effectue sur les agrégats Garrigue, GarrigueCV, GarriguePA, TaillisCV, Mélange et Futaie. La procédure « densifyVillage » est par contre indépendante aux autres.

Dans le modèle, toutes les actions des agents se déclenchent de manière automatique. Dans le jeu de rôle, certaines procédures resteront automatiques, tandis que d'autres seront du ressort d'acteurs réels, qui auront des décisions à prendre.

Ce modèle est destiné aux maires des communes du nord de la CANM. Ceux-ci endosseront donc leur propre rôle, au travers des trois agents Maires modélisés (quatre sessions de jeux sont prévues, permettant de faire participer 12 maires intéressés). Ils pourront exécuter les procédures urbanizeFields, revisePOS, UrbanizeForest, densifyVillage, qui ne seront alors plus automatisées. Les maires seront libres de leurs décisions dans la limite des actions prises en compte, ce qui leur garantit une grande marge de manœuvre si les actions ont été correctement intégrées. Dans le modèle, si l'urbanisation suit une séquence chronologique urbanisation dans la zone agricole / dans la zone naturelle, il est prévu, pour le jeu de rôles, de laisser libre choix aux maires de la zone à urbaniser en premier.

Un acteur Com. Agglo. a été créé dans le modèle pour permettre au commanditaire de la CANM de participer au jeu de rôle. Ainsi les procédures associées à cet agent, permettant de délivrer des informations sur l'élevage aux maires, seront exécutées par la personne de la CANM commanditaire du projet. Par ailleurs, la confrontation du maire avec le promoteur est apparue particulièrement intéressante au cours de la co-construction, car elle permet de faire ressortir le problème de l'intérêt général contre intérêt privé, essentiel dans le cadre d'une

réflexion sur le risque incendie et l'urbanisation. Ainsi, il serait intéressant qu'un aménageur urbain joue le Promoteur au cours des cessions de jeux de rôle et sollicite directement le maire dans le cadre de la procédure proposeHouselot.

Il ne paraît pas très judicieux de faire jouer les activités agricoles illustrant le recul de l'agriculture sur le territoire (« abandonChamps, arrachageVignes), par un acteur réel. Une intervention de type « Alors, cette année, je vais abandonner 30 ha dans la commune 1 » n'est sans doute pas très agréable à annoncer, pourrait plomber l'ambiance du jeu de rôles et freiner la réflexion sur les opportunités de développement agricole. Ainsi il est proposé d'automatiser ces activités portées par l'acteur Farmer. Toutefois, il pourrait être intéressant que les activités de relance soient portées par un acteur réel, apportant aux aspects techniques donnés par la CANM des compléments pratiques. Un acteur qui aurait à son actif les activités de réhabilitation de vergers, d'élevage ovin, caprin, et bovin, pourrait être à intégrer au jeu de rôles. Par contre, les activités portées par les acteurs Habitant et Pompier pourraient être automatisées, leurs actions étant relativement limitées dans le modèle, et des acteurs réels risqueraient de s'ennuyer dans le jeu de rôles.

### *3.3.2 Les points de vue et les sondes*

Afin de suivre l'impact des actions de chacun sur la dynamique des ressources et des groupes sociaux au cours du jeu de rôles, un éventail de points de vue (et de sondes) peut être élaboré à partir des indicateurs mentionnés comme pertinents par chacun des acteurs ayant participé à l'élaboration du modèle conceptuel (Etienne, 2003). Les points de vue sont des représentations spatialisées d'une information, tandis que les sondes sont des variables, pouvant être visualisées sous forme de graphique. Ils traduisent ce que chaque acteur a l'habitude ou l'envie de voir dans le territoire qu'il gère, qu'il administre ou dans lequel il mène régulièrement une activité. (Etienne, 2003)

Des points de vue et sondes, correspondant aux indicateurs proposés par les membres du collectif, ont été créés :

- une sonde « population » permettant de suivre l'évolution de la population totale
- une sonde « surfUrbanisée », calculant le total de cellules occupées par l'urbanisation groupée, l'urbanisation diffuse en zone agricole et l'urbanisation diffuse en zone naturelle (annexe 10)
- un point de vue « povPerimetre» (annexe 10) permettant de visualiser la zone inondable ainsi que la zone naturelle protégée (Zone de Protection Spéciale). Ces informations étaient contenues dans le fichier d'importation.
- des sondes « pourcUrbanise », « pourcForestier », « pourcAgricole » permettant d'avoir une idée de la côte part zone urbanisée/ zone agricole/ zone naturelle (par commune); des sondes « pourcTotalUrbanise », « pourcTotalForestier », « pourcTotalAgricole », portées par l'acteur Com.Agglo., et permettant de réaliser le même calcul mais à l'échelle intercommunale, comme cela avait été souhaité, sont également prévues, mais n'ont pas été intégrées au modèle actuel.

Le point de vue « aléa subi », proposé également par le collectif, fonction de la combustibilité, du relief, de l'exposition au vent dominant, n'a pas pour l'instant été réalisé, le relief n'étant pas modélisé. Il existe néanmoins un point de vue « fireRisk ».

D'autres points de vue et sondes, pouvant être sollicités par les joueurs, ont été créés dans le modèle NîmetPasLeFeu en complément des indicateurs proposés par le collectif. Ils permettent de visualiser les informations contenues dans le fichier d'importation, comme les cellules traversées par une route (povUtsolRoad, povUtsolNewRoad) ; mais aussi des informations

issues de calcul : l'âge des peuplements forestiers, les aires parcourues par les incendies. Un point de vue a été créé pour visualiser l'âge des friches, qui reflète leur état de fermeture : classes d'âge 0, variant de 1 à 5 ans, de 11 à 15 ans et d'âge supérieur à 15 ans.

Le Pin d'Alep étant une espèce en extension et objet d'inquiétude de la part de Nîmes Métropole, deux points de vue le concernant ont été élaborés : povPA indique l'âge des jeunes pins d'Alep se trouvant dans le milieu naturel et permet de repérer toutes les zones où il est susceptible de s'étendre (âge des pins d'Alep, pindalep = 0). PovPAUrbain donne les classes d'âge des peuplements de pins situés à proximité des habitations dans la zone d'urbanisation diffuse dans l'espace naturel. Des sondes ont été créées pour suivre des indices supplémentaires liés au processus d'urbanisation (attractivité, pression, demande, densités de population des trois catégories urbaines), l'évolution de l'espace naturel (surfForestière, surfPA) et pour estimer les surfaces incendiées (surfIncendie).

### 3.3.3 Des simulations du territoire

#### L'évolution de l'espace au cours du temps

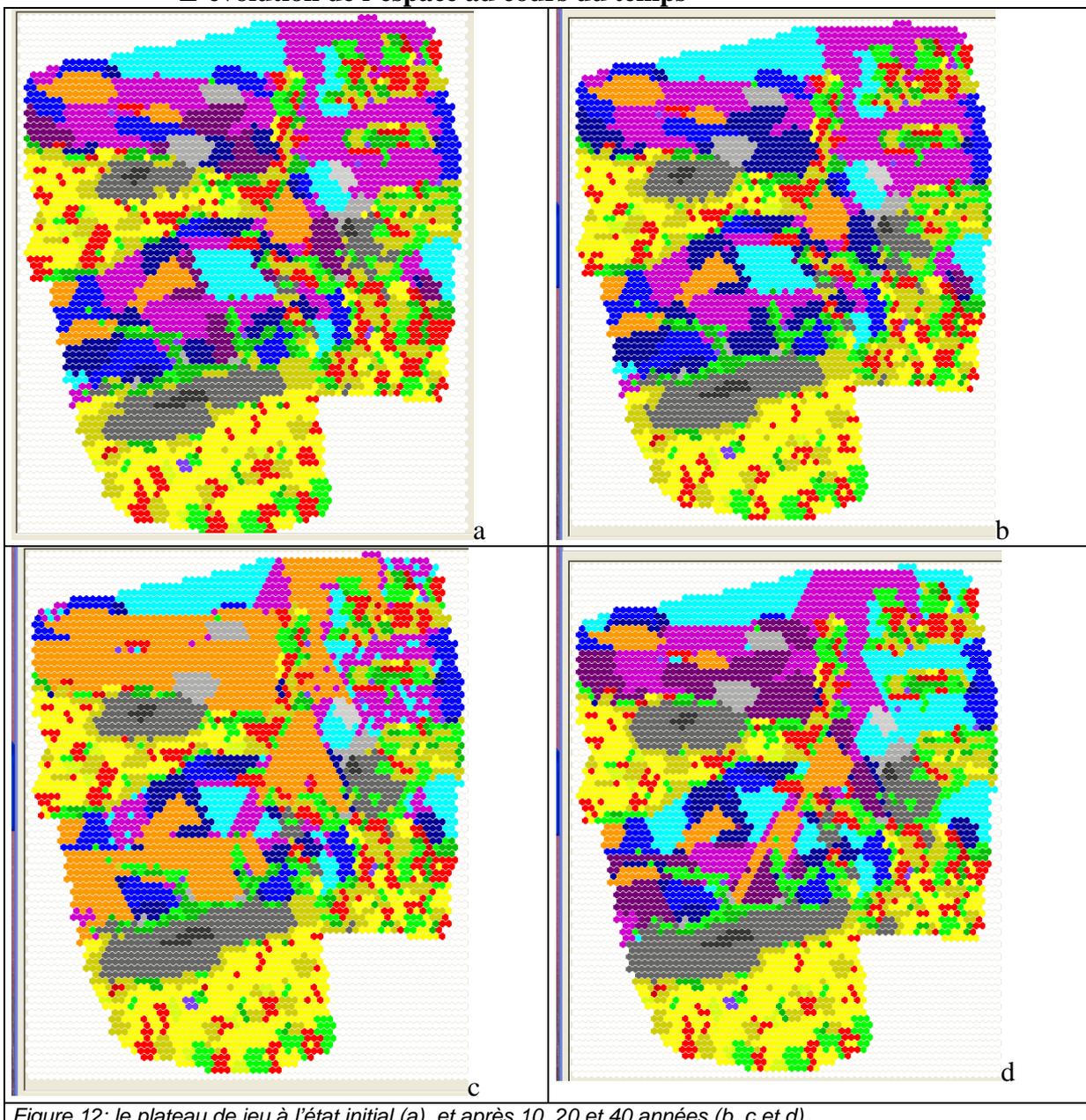


Figure 12: le plateau de jeu à l'état initial (a), et après 10, 20 et 40 années (b, c et d)

L'interface de simulation de Cormas a permis de visualiser l'évolution du territoire sur une période de 40 ans, durée de projection souhaitée jugée intéressante pour initier une réflexion des élus sur la prévention des incendies (figure 12).

L'aspect visuel des incendies, survenant après 15 et 30 pas de temps, est très variable, que ce soit niveau des surfaces concernées (de 1 à 340 ha, surface de l'ordre de grandeur des grands incendies ayant touché le véritable territoire au cours des dernières décennies), ou de leur localisation (espaces naturels des communes 1, 2 ou 3). Les incendies se déclarent néanmoins fréquemment dans les communes 1 et 2 et moins souvent dans la commune 3. Leur forme, conditionnée par l'orientation N-E, S-E, correspond bien à celle observée pour les incendies ayant touché le secteur.

Dix simulations ont été comparées pour caractériser les principales tendances d'évolution du territoire virtuel, en fixant les départs de feu dans deux cellules particulières du territoire.

De nouveaux lotissements apparaissent autour de l'urbanisation diffuse en zone agricole déjà constituée, mais on n'observe pas d'extension de l'urbanisation diffuse en zone naturelle pour la période de simulation considérée (50 pas de temps nécessaires pour commencer à voir apparaître de l'urbanisation diffuse gagnant la zone naturelle dans la commune 3). Cela est lié à la séquence logique adoptée dans le modèle, dans laquelle l'agent Maire fait construire dans la plaine agricole tant que des friches sont disponibles, puis fait construire dans l'espace naturel. Dans la réalité, il semble peu probable que l'urbanisation diffuse ne gagne pas la zone naturelle en l'espace de quarante ans, étant donné l'importance de l'étalement urbain qu'a déjà connu le territoire de Nîmes Métropole par le passé. Toutefois, il ne semble pas utile de corriger le codage de cette séquence, dans la mesure où il est prévu, dans le jeu de rôles, de donner au maire la possibilité d'urbaniser où il le souhaite.

La forme d'extension urbaine est conforme aux informations fournies par le collectif au cours de la réunion de co-construction : l'urbanisation progresse de manière importante dans la commune à caractère urbain, pour laquelle l'attractivité est la plus importante ; elle contribue à combler les «dents creuses », zones non construites insérées entre zones construites.

L'espace forestier est marqué par une avancée du pin d'Alep et par le passage de la garrigue boisée de chêne vert au taillis de chêne vert (à partir de 15 ans). Le passage d'un grand feu après 15 pas de temps, traversant les trois communes, bouleverse la végétation du territoire et laisse place à une vaste zone de garrigue, peu à peu recolonisée par endroits par le pin d'Alep et dont de vastes zones se transforment en garrigue boisée de chêne vert. A 40 ans de simulation, les catégories de végétation les plus représentées sont le taillis de chêne vert et la garrigue boisée (de chêne vert et de pin d'Alep).

Un mouvement d'extension du pin d'Alep est observée dans les quinze premières années (50 ha), puis les quinze années suivant l'incendie (30 ha), mais les surfaces ont globalement fortement régressées, du fait du passage d'un grand incendie à  $t = 15$  (400 ha de surfaces couvertes de pin d'Alep brûlées). L'ajout de surfaces de pin d'Alep dans la carte virtuelle semble avoir amélioré la modélisation du processus de dissémination. En effet, dans des simulations conduites sur la carte virtuelle initialement élaborée (version 2), les surfaces de pin d'Alep n'augmentent que de 35 ha et 10 ha au cours des périodes 0-15 ans et 16-40 ans. Le fait d'ajouter des surfaces de pin d'Alep à l'état initial a créé davantage de zones de contact avec des cellules de friche, vigne enherbée, et verger enherbée, susceptibles d'être contaminées par du pin d'Alep.

Dans toutes les communes, les surfaces urbanisées augmentent fortement, tandis que les surfaces forestières stagnent ou connaissent une légère avancée. Ces évolutions se font au détriment de l'espace agricole : le pourcentage de surface agricole diminue de 7 points en 40

ans : il passe de 30 à 26% dans la commune 1, de 35 à 33% dans la commune 2 et de 42 à 38% dans la commune 3. De nombreuses friches se forment sur le pourtour des pôles urbains. Toutefois, la surface en friches diminue globalement sur la période de simulation, indiquant que le processus d'urbanisation se caractérise par un rythme plus rapide que la déprise agricole dans le modèle.

Le pourcentage de 30% choisi pour caractériser le taux d'abandon des surfaces de céréales a été remis en cause par le collectif et il a été proposé de prendre un taux de 10%. Dans l'objectif de caler le rythme d'évolution de l'occupation agricole, l'évolution de la superficie agricole obtenue grâce au modèle a été comparée aux données du RGA (évolution de la SAU entre 1979 et 2000). Les données du RGA indiquent des pertes considérables de la SAU, le pourcentage diminuant de 14 et 15 points pour les communes de types 1 et 3 en l'espace de 20 ans (néanmoins, on note une augmentation de la SAU de 2 points pour les communes de type 2). Lors des simulations effectuées avec un taux de 30%, la diminution de surface agricole varie de 2 à 4 points pour les trois communes sur une période de 40 ans. Ainsi, le taux de 30% semblait plutôt en deçà de la réalité, contrairement à ce que le collectif avait évoqué.

Un taux d'abandon des surfaces en céréales de 50 % a donc été testé pour accentuer la visualisation de la déprise agricole (annexe 11). De manière surprenante, les pourcentages de surface agricoles ainsi les surfaces de friches restent identiques à ceux observés pour un taux de 30% ; à l'exception des surfaces en friches de la commune 2, légèrement plus importantes. Jouer sur le pourcentage d'abandon ne semble pas influencer la modélisation du processus de déprise. Peut être les critères choisis dans la modélisation pour désigner les cellules agricoles pouvant être abandonnées sont ils trop limitants : plutôt que de considérer les cellules agricoles situées au contact de la zone urbaine on aurait par exemple pu choisir toutes les cellules agricoles situées à une distance de 100 – 200 m de la zone urbaine. Des tests complémentaires pourraient être effectués dans ce sens.

La réhabilitation des vergers concerne des surfaces importantes : la surface de vergers entretenus passe de 16 à 26 % de la surface agricole en l'espace de 40 ans. La modélisation de cette activité semble correcte pour tous les vergers situés au contact de l'espace naturel mais elle ne prend par contre pas en compte certains vergers situés en zone naturelle mais entourés par des cellules agricoles. On pourrait envisager d'intégrer un critère pente dans la carte virtuelle pour pouvoir sélectionner plus facilement ces vergers.

## **4 DISCUSSION**

### **4.1 La démarche suivie en question**

Le modèle NîmetPasLeFeu a été élaboré en suivant la méthode proposée par les chercheurs du réseau ComMod dans le cadre d'une démarche de modélisation d'accompagnement. Deux points clés de la méthode ComMod, le passage d'un environnement concret à un environnement abstrait d'une part, la co-construction du modèle d'autre part, seront abordés et discutés au travers du projet particulier NîmetPasLeFeu.

#### *4.1.1 D'un environnement concret à un environnement abstrait*

L'objectif de l'analyse du territoire en préalable à l'élaboration du plateau de jeu était de disposer d'un environnement virtuel, mais qui reste représentatif de la réalité. La carte virtuelle devait en effet permettre aux élus de prendre du recul par rapport à leur commune et à leurs préoccupations quotidiennes, tout en les maintenant concernés par le territoire représenté. Les

points développées dans cette partie reprennent les étapes ayant permis le passage du monde réel au monde virtuel: la synthèse d'informations spatialisées, issues d'un SIG ; l'identification des activités humaines « utilisatrices du territoire » ; la construction des archétypes des communes ; et enfin la procédure de couplage entre SIG et modèle.

### **La base de données utilisée**

La synthèse des informations spatialisées du territoire a été possible en effectuant un couplage entre SIG et SMA. Dans le cadre de ce projet, les informations cartographiques sont issues de la base de données de la DDAF (2SIGard). Les cartes sélectionnées parmi toutes les couches thématiques disponibles, et en particulier les photos aériennes et les cartes de l'IFN, ont permis de disposer d'informations essentielles sur le territoire. Cette base de données contenait néanmoins des informations partielles par rapport aux besoins de la modélisation, sur plusieurs aspects.

La seule description de l'occupation du sol disponible pour les zones agricole et urbaine était donnée par le zonage Corine Land Cover, qui ne permettait pas d'avoir une description suffisamment précise du territoire. Un zonage manuel, long et fastidieux, bien que permettant de bien observer et se familiariser avec le territoire a été réalisé pour décrire ces espaces. Sur certaines parties du territoire la photo-interprétation s'est révélée particulièrement délicate. Des champs apparaissant très blancs sur la photo, se sont révélés être plantés en céréales sur le terrain, mais une incertitude demeure quant à l'utilisation du sol en 2001 ; ils ont été classés dans la catégorie « céréale ».

La base de données ne disposait pas de Modèle Numérique de Terrain, que l'on aurait pu utiliser pour cartographier la pente, facteur important de la propagation des incendies. On pourrait toutefois envisager d'introduire la pente de façon très simplifiée dans le modèle, en délimitant la plaine, les coteaux, le plateau.

Concernant les activités agricoles, seule une couche thématique sur les zones AOC viticoles était disponible. La localisation des autres zones AOC était pourtant utile pour situer les zones où un maintien de l'activité agricole favorisé par les productions de qualité était envisageable. Ces données ont été obtenues auprès de la Chambre d'Agriculture (bien que n'ayant pas été exploitées par la suite).

Seules les orthophotos aériennes de 2001, géoréférencées, couvrant l'ensemble du territoire étaient disponibles. Des photographies aériennes issues d'une mission effectuée en 1945 avait été récupérée par la CANM mais les photographies n'étaient pas disponibles au moment du projet. Une analyse comparative de l'occupation du sol, à partir de séries de photos aériennes, prises à différentes dates, aurait permis de mieux rendre compte des principales tendances d'évolution du territoire, et de quantifier les rythmes de déprise agricole et d'urbanisation. On s'est basé sur des hypothèses fortes pour modéliser ces processus (30% de surface arrachée ou abandonnée par an, entre 50 et 100 logements de plus sur le territoire par an).

Il serait particulièrement intéressant de superposer les séries de photos aériennes prises à trois dates différentes, afin de dresser une comparaison entre l'évolution de l'occupation du sol modélisée et celle observée sur le terrain. Cela permettrait de réaliser éventuellement un calage des processus urbain et de déprise agricole modélisés. Cette analyse comparée a été réalisée au cours de l'élaboration de modèles ou jeux de rôles couplés à des SIG (Castella *et al.*, 2005; Morshed Anwar et Borne, 2005).

L'âge des peuplements forestiers ne faisait pas partie des données disponibles dans le SIG, que ce soit au niveau des inventaires forestiers nationaux ou d'autres couches thématiques. En conséquence, des règles ont du être imaginées dans le modèle pour affecter un âge aux diverses

catégories de végétation. Une couche thématique indiquant l'âge des peuplements d'un échantillon de placettes forestières apporterait un complément utile pour valider les hypothèses formulées.

Par ailleurs, l'inventaire forestier national le plus récent à disposition datait de 2000, et les photos aériennes de 2001. Deux possibilités étaient envisageables pour palier ce problème d'actualisation des données selon le modèle que l'on souhaite construire : soit le modèle représente une situation ancienne de 5-6 ans, et dans ce cas, on se contentait de ces données, soit il représente la situation actuelle, et il était nécessaire de prendre en compte les évolutions récentes. La deuxième option paraissant la plus adaptée à la demande des commanditaires, des photographies aériennes datant de 2004 et 2005 (non géoréférencées) ont été récupérées à la CANM. Toutefois, elles ne donnaient pas les mêmes possibilités d'exploitation que des orthophotos géoréférencées : la superposition des photos n'était pas possible et l'évolution des fronts de zone était difficilement visible. En conséquence, la carte virtuelle actuelle a été élaborée principalement à partir des cartes de 2000-2001 et reflète une situation antérieure à la situation actuelle.

Les processus urbains, mais aussi certains processus écologiques comme la dissémination du pin d'Alep peuvent avoir évolué en l'espace des cinq dernières années. Une solution pourrait consister à évaluer le rythme d'extension du pin d'Alep annuel et à ajouter à la carte virtuelle une surface équivalente à l'aire d'extension de cinq années (en faisant l'hypothèse d'un rythme d'extension constant sur les dix dernières années). Cette solution n'a pas pour l'instant été mise en œuvre, car les peuplements forestiers n'ayant pas été cartographiés de la même façon dans les cartes de l'IFN de 1990 et 2000, leurs surfaces étaient difficilement comparables (par exemple, ce qui avait été identifié comme espace vert urbain en 1990 est classé comme garrigue boisée de chêne vert en 2000).

Seul un changement flagrant de l'utilisation du sol, l'implantation d'un vignoble en zone de coteaux, avait été repéré sur les photos de 2004-2005. Ce signe d'une certaine relocalisation de la viticulture vers les zones de coteaux n'a toutefois pas été mentionné par le collectif au cours de la co-construction.

### **La collecte d'informations sur les activités utilisatrices du territoire**

Les personnes contactées par téléphone ont semblé souvent surprises par la question de décrire les « activités représentatives du territoire de Nîmes Métropole, ayant un impact sur la fermeture/ouverture du milieu naturel ». Les informations données étaient souvent issues de statistiques, à l'échelle du département, et ne permettaient pas de localiser finement les activités sur le territoire.

Le manque de données précises sur l'activité agricole est sans doute renforcé par sa situation périurbaine, en fort déclin. Le nombre très important de propriétaires forestiers privés rend la connaissance des interventions dans le massif délicate. Certaines activités agricoles auxquelles je m'intéressais étaient par essence difficiles à évaluer: réhabilitation de truffières et d'olivettes, élevage provenant de l'extérieur du territoire (Camargue), voire du département voisin (Bouches-du-Rhône).

Deux études ont été lancées par la CANM en même temps que ce projet, en partenariat avec la Chambre d'Agriculture du Gard d'une part, du SIME d'autre part, dans l'objectif de recenser les activités agricoles et d'élevage sur le territoire et d'identifier les opportunités de développement. Ces activités n'ont pas été décrites précisément au cours de la phase de collecte d'informations sur le territoire, mais les techniciens en charge de ces études ont été intégrés au collectif de construction du modèle, et ont pu nous faire part de leurs acquis sur le territoire.

L'élevage de chevaux de loisirs est une activité au sujet de laquelle il a été particulièrement difficile de recueillir des informations, que ce soit auprès de la DDSV, des mairies, des Haras Nationaux. Cette difficulté de recensement avait été soulignée dans le cadre d'un « essai de repérage » des « herbivores de loisirs en région périurbaine » conduit dans les Garrigues de Montpellier en 1996 (Roche, 1996). Pour le modèle, le nombre de chevaux ayant été avancé par la DDSV pour le territoire de la Vaunage, dont le nombre d'habitants était par ailleurs connu, on a choisi de déterminer le nombre de chevaux en fonction de la population. A l'état initial, le nombre de chevaux sera dans le modèle de l'ordre de 125 chevaux, ce qui paraît cohérent avec les résultats de l'étude conduite sur les Garrigues de Montpellier, qui avance le nombre de 200 chevaux (pour une même surface du territoire).

Les informations fournies lors de l'atelier sur l'urbanisation sont restées en général floues (densité de l'habitat), parfois contradictoires (au sujet des facteurs d'attractivité) et il a été difficile d'en tirer parti autant que souhaité dans la modélisation. Il a semblé surprenant que les urbanistes n'aient pas une idée plus précise de la densité de l'habitat dans les différentes zones urbaines. Concernant l'attractivité, notion très subjective, il semble assez normal que les explications soient restées floues. Par ailleurs, l'urbanisation étant un phénomène peu connu de ma part, il était difficile de préciser suffisamment les questions de la grille pour les rendre plus explicites aux urbanistes.

Ces différentes prises de contact ont néanmoins permis d'identifier des personnes qui pourraient apporter leur connaissance du territoire et de former le collectif de co-construction.

### **Les archétypes des communes et les modèles graphiques**

La réalisation des archétypes des communes a été indispensable pour effectuer une synthèse des informations spatiales issues du SIG.

La phase de construction des archétypes a néanmoins été délicate, car elle nécessitait une prise de recul et une importante capacité d'abstraction. Des références en géographie auraient sans doute aidé dans cette étape, pour mieux identifier ce qui est caractéristique d'une organisation spatiale, de ce qui est un détail de forme, résultat d'une « coïncidence ». Michel Etienne avait évoqué l'utilisation des « chorèmes » pour les élaborer. Cette méthode, développée par des géographes et des agronomes, propose l'utilisation de 23 figures de base ou « chorèmes » (trois figures de base, point, ligne, aire, croisées avec huit types de dynamiques), pour représenter toute organisation, configuration ou dynamique spatiale. La carte-modèle ainsi établie met en évidence le rôle et l'arrangement des chorèmes, permettrait ainsi de comprendre les structures et les dynamiques fondamentales d'un territoire (Cheylan *et al.*, 1990). Néanmoins, cette démarche n'a pas été mise en œuvre, car le niveau de schématisation souvent choisi par les chercheurs me paraissait trop poussé pour construire une carte virtuelle adaptée aux attentes des commanditaires. J'ai choisi de réaliser des archétypes qui respectent la forme réelle des communes, tout en la simplifiant. Un avantage des chorèmes était par contre de représenter une dynamique, mais pour intégrer cette dimension spatiale, je manquais de références de photos aériennes plus anciennes.

Des chercheurs ayant utilisé les chorèmes comme outil de modélisation graphique ont constaté qu'une trop grande simplification du contour provoque parfois une attitude de rejet de la part des acteurs, et ont proposé, dans les cas où cela paraît plus adapté, de conserver un contour proche des représentations cartographiques (Bonin *et al.*, 2001). Ainsi, il pourrait être envisagé de reprendre les archétypes que j'avais établis, et d'y intégrer la dimension spatiale, grâce à la comparaison de deux séries au moins de photographies aériennes et en utilisant des chorèmes.

Par ailleurs, il me semblerait intéressant d'impliquer davantage le collectif à la construction de la carte virtuelle. Dans la démarche proposée par Michel Etienne, la co-construction devait se dérouler une fois la carte virtuelle élaborée. Les archétypes, la carte virtuelle et sa légende ont

été proposées et discutées avec les acteurs, des modifications ont été apportées en fonction des remarques émises, puis validés. Il me semblerait plus judicieux de commencer par la formation du collectif d'acteurs et d'intégrer la construction de la carte virtuelle comme une première étape de la co-construction. Cette démarche a par exemple été adoptée pour la création d'un modèle portant les changements d'usage dans le nord-vietnam, au cours duquel les participants ont été invités à concevoir un paysage virtuel, qui ressemble à leur propre village (Castella *et al.*, 2005). Les chorèmes pourraient servir d'outils communs à la construction de la carte virtuelle. D'après les chercheurs réalisant de la modélisation graphique, les acteurs sont à même de s'approprier le tableau des structures élémentaires et de s'essayer à leur combinaison. Ils proposent également que les chercheurs laissent libre expression aux acteurs : ils reconstruisent les chorèmes, puis les soumettent à discussion, et les reprennent éventuellement en fonction des remarques des acteurs (Bonin *et al.*, 2001).

### **La technique de couplage entre MapInfo et Cormas**

Il aurait été difficile de développer le modèle informatique directement à partir du SIG, qui reste un outil statique (pas de capacité de gérer le temps, traitement difficile d'opérations localisées sur une grille). Pour intégrer des dynamiques et des activités sociales, une approche de modélisation intégrée, couplant SIG et SMA était donc particulièrement avantageuse (Campo, 2005). Le couplage entre MapInfo et Cormas est partiel, dans le sens où les deux logiciels ne sont pas accessibles en même temps par une seule interface pour l'utilisateur, comme cela est le cas pour certains couplages de SIG avec des modèles agronomiques (Lo Seen *et al.*, 2001). Cela donne à mon avis beaucoup de souplesse au dispositif, car il n'est pas nécessaire de modifier la structure de la base de données initiale, et toute sortes de données peuvent être exploitées.

La transformation de la carte, du format vecteur en format raster, ne m'a pas posé de difficultés particulières, et la procédure, exécutée sous MapInfo, a paru plus simple qu'avec Arcview, logiciel que je connaissais dans le cadre de ma formation. Par contre, la série de manipulations à effectuer pour mettre en forme la carte raster dans un format lu par Cormas a rendu l'importation du plateau de jeu ou sa correction assez délicates. Des corrections peuvent être réalisées directement sur le plateau de jeu, et les modifications, enregistrées dans l'environnement, sont alors prises en compte à la réouverture du plateau de jeu. Cette technique a par exemple été utilisée pour classer un tronçon de route comme une nouvelle route, mais un problème de lecture est apparu à la réouverture, liée au fait que les champs d'utilisation du sol étaient sous leur forme traduite, et non sous la forme des codes numériques initiaux. Cette difficulté a été surmontée en remplaçant manuellement les noms des catégories d'utilisation du sol par les codes correspondants. Le fait que les changements soient opérés sur la carte initialisée, et non sur le fichier de départ, constitue à mon avis une limite à cet outil de correction.

Le format raster a été imposé par le fonctionnement de Cormas, basé sur un automate cellulaire. La maille optimale à adopter pour réaliser la carte raster a fait l'objet d'un important questionnement. Dans le jeu de rôle adapté de SYLVOPAST, la maille était de 10 ha (Fayein, 2003) : si cette échelle était justifiée pour un jeu de rôles axé sur le milieu naturel, elle paraissait excessive pour un jeu de rôles prenant en compte zones urbaine et agricole. Si une maille de 10 ha pouvait constituer une limite supérieure, quelle était la valeur limite inférieure raisonnable à envisager ? Dans un premier temps, une maille de 20x20m a été testée (surface correspondant à un terrain à bâtir ou encore à l'emprise d'une voie de circulation importante). Elle permettait aux joueurs de visualiser directement sur la carte de jeu les terrains individuels ou les routes. Toutefois, étant donné le nombre important de cellules générées par la grille correspondante, la

maille de 400 m<sup>2</sup> ne fut pas conservée, et il fut jugé préférable de donner la possibilité aux joueurs de disposer de l'information du nombre de terrains à bâtir ou de la présence de routes dans telle cellule, plutôt que de fournir visuellement ces informations. Finalement, c'est à partir de l'observation des photos aériennes qu'une fourchette des surfaces des catégories d'utilisation du sol fut estimée, et les mailles de 1000m<sup>2</sup>, 1 ha et 4 ha choisies. La transformation de l'aspect visuel de la carte virtuelle qu'a entraîné le passage du format vecteur au format raster, n'a pas été perçue de manière négative par les acteurs.

#### 4.1.2 La co-construction

Quelques points clés de la co-construction mise en place pour le projet de Nîmes Métropole sont développés dans la partie suivante, concernant le collectif d'acteurs (choix des personnes à intégrer, légitimité et représentativité des personnes choisies), la réunion de co-construction (construction du modèle à l'aide des diagrammes ARDI ou d'un formalisme logique, rôle délicat de l'animateur de la réunion)

##### **Le choix du type de collectif**

La formation d'un collectif d'acteurs, représentatifs des activités utilisatrices du territoire, m'a amené à me poser beaucoup de questions. Dans les articles rapportant des expériences d'accompagnement menées par chercheurs ComMod consultés, l'accent était souvent mis sur l'étape de modélisation, mais peu de détails sont donnés sur les étapes en amont, et en particulier sur le choix des personnes participants à la co-construction. Toutefois, deux types de collectifs étaient souvent décrits dans ces retours d'expériences: des collectifs de gestionnaires et de chercheurs d'une part (Etienne, 2005; Etienne, 2006), d'acteurs directs d'autre part (Castella *et al.*, 2005; Barreteau *et al.*, 2006). Pour former le collectif, j'ai envisagé deux possibilités : la constitution d'un collectif de techniciens, représentant les activités du territoire, ou un collectif d'acteurs directs (par exemple membres des Syndicats des Propriétaires Forestiers, de l'Élevage, des Trufficulteurs, des Manadiers, des Fédérations de Chasse...). Dans un collectif d'acteurs directs, il devait y avoir un acteur pour chaque type d'activité, et cela risquait de sur-représenter des activités, parfois quasiment inexistantes sur le territoire. Par conséquent, j'ai décidé d'intégrer des techniciens, qui avaient une connaissance plus globale des activités et une idée de leur poids respectifs.

J'aurais aimé avoir de plus amples informations sur la méthode adoptée par les chercheurs ComMod pour identifier les types de structures ou acteurs qu'ils jugeaient légitimes d'intégrer à la conception des modèles, puis pour entrer en contact avec elles... Dans cette étude, le contact a été établi préférentiellement par le biais d'entretiens téléphoniques. J'aurais pu envisager une démarche plus formelle, avec l'envoi d'une lettre d'information aux différentes structures susceptibles d'être concernées, mais j'ai jugé que le contact serait établi plus facilement par téléphone, car il serait plus facile d'introduire au fil de la présentation de la démarche des termes qui peuvent au départ susciter une réticence, liés à l'aspect de « modélisation ».

Les participants ont fait preuve d'une bonne réceptivité et se sont tout de suite familiarisés avec les notions abordées dans les diagrammes ARDI. Ils ont permis de construire une vision cohérente du territoire, prenant en compte une diversité d'acteurs et de processus. On peut se demander quelle aurait été la réaction d'acteurs directs à l'exercice de co-construction, et quelle aurait été la vision du territoire qu'ils auraient apporté. Les diagrammes ARDI, facilement compréhensibles, à condition d'être clairement présentés et illustrés, n'auraient à mon avis pas posé de problèmes de compréhension. Les actions décrites auraient sans doute été plus détaillées, prenant en compte des aspects concrets et économiques. Par ailleurs, des acteurs

directs auraient peut-être donné davantage d'indicateurs, en lien avec des questions qui les concernent au quotidien.

Le choix des techniciens pose lui aussi question : la vision du territoire qui a été élaborée avec ces personnes est subjective, résultant de leur propre vécu, de leur perceptions personnelles de l'environnement dans lequel elles vivent. Quelle aurait été la vision construite par d'autres personnes issues des mêmes structures techniques ? Ce particularisme que l'on construit peut constituer une limite de la modélisation d'accompagnement. D'où l'intérêt de d'organiser un jeu de rôles, pour valider la vision élaborée à partir d'un groupe de personnes particulières. Dans le cadre de ce projet, la validation sera d'autant plus pertinente que le jeu de rôles sera réalisé avec des acteurs qui ne sont pas intervenus dans la co-construction.

### **La légitimité et la représentativité des acteurs**

Les membres du collectif ont eux-mêmes émis des critiques par rapport aux personnes à intégrer. Une certaine réticence a été émise pour inviter la structure représentant les activités de chasse, alors qu'elles semblaient importantes à prendre en compte par rapport à la problématique de fermeture des milieux. Est-ce là le signe d'un conflit d'usage mettant en cause les chasseurs ?

Lors de la co-construction, il a été reproché de ne pas avoir invité l'ONF, mais fallait-il intégrer cette structure alors que peu d'interventions à vocation sylvicole étaient menées sur le territoire, et que l'objectif était d'avoir une vision des activités existantes sur le territoire ? En quoi le CRPF était-il moins légitime que l'ONF pour évoquer les coupes de bois réalisées dans le milieu forestier ? Les aménagements DFCI, qui constituent l'activité principale de l'ONF, ont été par ailleurs peu évoqués par la DDAF, comme cela était initialement attendu, la personne de la DDAF s'étant davantage focalisé sur les aspects législatifs. Il semble que l'objectif attendu du collectif d'acteurs n'ait pas été entièrement bien cerné par les commanditaires, qui souhaitaient voir représenter toutes les instances ayant une part de responsabilité dans la gestion du territoire.

De manière surprenante, le technicien de l'ONCFS, qui représente une vision naturaliste du territoire, n'a pas réagi à l'évocation « de nouvelles activités de loisirs (VTT, quads), pour lesquelles des aménagements sont nécessaires » pour les juguler. On peut se demander s'il n'aurait pas été intéressant d'intégrer une association de protection de l'environnement pour porter davantage cet aspect naturaliste.

L'activité agricole était portée par deux structures, la Chambre d'Agriculture et le SIME, alors même que les activités agricoles sont en perte de vitesse et peu représentées sur le territoire. J'avais choisi d'intégrer ces deux structures, car les techniciens concernés, dans le cadre des deux études initiées par la CNAM, avaient procédé à une division du travail entre cultures et élevage. Pour avoir un point de vue global, il était nécessaire de les réunir.

A l'inverse, le maire avait une « double casquette », étant à la fois maire, mais aussi Vice-président de la CANM. Sa vision était donc très particulière, car il entretient une relation privilégiée avec le commanditaire du projet. Ainsi cela a peut-être biaisé en quelque sorte l'exercice de co-construction, en occultant d'éventuels problèmes entre commune et intercommunalité. Il sera particulièrement intéressant de voir dans quelle mesure les autres maires du territoire approuveront la vision de ce maire à double casquette !

Quatorze personnes ont participé à la co-construction, trois personnes supplémentaires non prévues initialement accompagnant les techniciens. En conséquence, les tours de table étaient relativement longs et les possibilités de débats assez limitées. Cela pointe l'importance du mode de convocation des acteurs : il aurait fallu souligner dans l'invitation la nécessité de n'avoir qu'un seul représentant pour chaque structure sollicitée.

## La construction collective du modèle

L'intégration d'acteurs locaux dans la construction du modèle conceptuel présente comme avantages l'acquisition d'une vision proche du terrain d'une part, et une implication plus forte des acteurs pour le projet d'autre part. La démarche pourrait être encore plus intégrative, en débutant la co-construction avec l'élaboration de la carte virtuelle du territoire, comme cela a été évoqué précédemment.

L'exercice de co-construction, très original, axé sur la spontanéité de la parole et l'interactivité, a beaucoup surpris, voire déstabilisé les participants, mais il a aussi contribué à renforcer l'adhésion au projet. Cet effet de surprise, souvent signalé dans les démarches d'accompagnement mises en place (Etienne, 2006), a permis aux participants d'évoquer les divers éléments du territoire qui leur venaient en priorité à l'esprit et qu'il jugeaient indispensables à prendre en compte.

La discussion autour des diagrammes ARDI a fait surgir des questions concernant la gestion du territoire.

Au moment de l'élaboration du diagramme des interactions, l'explicitation de certaines actions a parfois considérablement modifié l'idée de l'impact possible de l'activité décrite sur le milieu : par exemple, le rôle du forestier a été dans un premier temps caractérisé par le verbe « exploiter », puis précisé sous les termes de « couper » et « laisser rémanents ». Si la coupe de bois a un effet bénéfique sur la prévention des incendies, le fait de laisser les rémanents sur place, accroît considérablement le risque de propagation. De même, le mot « cultive », évoqué pour caractériser l'action de l'agriculteur, a été remplacé par « déchaume ». Or la pratique du déchaumage est peu répandue, ce qui accroît considérablement le risque de propagation pour les parcelles de céréales situées en bordure de garrigue. Une action à priori positive par rapport à la prévention des incendies, permettant un entretien du milieu, s'est révélée plutôt négative. La discussion sur le déchaumage a permis de clarifier le sens du terme employé : le pompier a affirmé initialement que « tout le monde déchaumait », ce qui a été contredit par les experts agricoles, qui ont alors expliqué le terme de « déchaumer », à bien différencier de « moissonner ».

La réflexion autour de la construction du modèle, par le biais des diagrammes, a donc amené les participants à reconsidérer leurs points de vue et à enrichir mutuellement leur connaissance du territoire et des pratiques. Suite à la réunion, un des participants a par exemple souligné qu'il ne pensait pas qu'autant de personnes différentes se partageaient ce territoire ! La discussion ayant porté sur la description de l'acteur responsable de l'urbanisation (aménageur / promoteur) a fait ressurgir le conflit possible entre intérêt général et intérêt particulier, qui semble être un point essentiel dans la gestion du risque incendie. Un des freins à l'efficacité de la prévention du risque réside dans l'opposition du maire, ayant une mission d'intérêt général, et l'aménageur, poursuivant son intérêt particulier. Ce débat a mis en lumière l'intérêt d'une confrontation entre le maire et l'aménageur lors du jeu de rôles futur.

Dans l'esprit de la co-construction, il était important de présenter le modèle informatique construit à partir des diagrammes ARDI au collectif, en clarifiant les hypothèses qui avaient été introduites dans le modèle. Je me suis interrogée sur la façon à adopter pour présenter le modèle informatique de la façon la plus transparente possible. Sur les conseils de Michel Etienne, les diverses actions décrites dans les diagrammes et les règles les accompagnant ont été traduites en langage logique, en utilisant un formalisme particulier, facilement reconnaissable. Des éléments du codage informatique, mis en forme selon ce formalisme, ont pu être critiqués et transformés (notion d'attractivité, densité de l'habitat, rythme de déprise agricole). Il aurait été judicieux de passer par ce formalisme, avant de faire le codage en SmallTalk, et non l'inverse (ce qui n'a pas

été effectué, faute de temps). Cette étape a en effet permis de revenir sur quelques éléments du code qui ne semblaient pas très logiques.

### **Le rôle délicat de l'animateur**

Dans les processus de concertation, dont la co-construction fait partie, figure généralement un « tiers facilitateur » (Beuret, 2006). Michel Etienne a tenu ce rôle au cours de la co-construction, tout en assumant sa position de chercheur écologue à l'Unité Ecodéveloppement. Il est intervenu dans le débat à plusieurs reprises, mettant en lumière de nouveaux éléments, mais avec le soin de les présenter comme des propositions, et a livré ses opinions : son rôle s'est rapproché de celui du « conciliateur », plutôt que de celui du « médiateur », qui laisse aux acteurs l'initiative exclusive de la construction (Beuret, 2006).

Au cours de l'élaboration du diagramme des acteurs, Michel Etienne a porté une vision naturaliste du territoire, en mentionnant le gibier comme un acteur direct (relevé dans le discours de la personne de l'ONCFS), ou en questionnant la personne de la CANM sur la relation entre usagers de loisirs et aménageur (les loisirs constituant selon lui une activité perturbatrice pour le milieu naturel). Il a fait part de son expérience de recherche sur les coupures de combustible, en insistant sur les pratiques agricoles à risque vis à vis des incendies. La profession de chercheur permet à mon avis d'avoir une bonne légitimité en tant que facilitateur, car elle assure une reconnaissance de la part des acteurs, et l'esprit scientifique permet de faire preuve d'une certaine objectivité (à condition que le chercheur ne soit pas concerné personnellement par la problématique en jeu). Par ailleurs, il ne me semble pas nécessaire de disposer absolument des connaissances scientifiques sur le thème en jeu pour exercer le rôle de facilitateur. En revanche, si le facilitateur de cette réunion n'avait pas eu une connaissance particulière sur la fermeture des milieux et la prévention des feux de forêt, il aurait été à mon avis très intéressant d'intégrer au collectif un expert scientifique familier de ces questions.

Suite à cette réunion, je me suis interrogée sur les capacités à avoir pour pouvoir tenir le rôle de facilitateur dans le cadre de la co-construction. Un facilitateur doit à mon avis faire preuve de capacités de communication (capacité à expliquer, à écouter, esprit de synthèse, esprit critique) et d'organisation des temps de parole. Il me semble que la fonction d'enseignement exercée par Michel Etienne dans le cadre de ses activités de recherche a contribué à avoir de grandes qualités de communication.

Le facilitateur doit faire preuve d'un certain charisme. Il ne s'agit pas de se montrer comme un « manager », qui trancherait le débat et prendrait une décision, mais plutôt comme un « arbitre », qui intervient pour réorienter le débat, en coupant si besoin la parole aux acteurs qui monopoliseraient la conversation. Michel Etienne est intervenu à plusieurs reprises pour rééquilibrer les temps de parole, sautant parfois le tour de personnes qui étaient intervenu spontanément.

Pour pouvoir exercer un esprit critique par rapport au discours des acteurs, le facilitateur doit avoir une bonne connaissance des activités que les acteurs représentent ou exercent, pour avoir conscience des usages « habituels », des contraintes existantes et des éventuels conflits d'usage sous-jacents. C'est pourquoi une longue expérience, permettant d'acquérir cette connaissance du terrain constitue un avantage pour le facilitateur. Mais cela ne doit non pour autant l'inciter à transposer une vision qu'il acquise du terrain et des problèmes récurrents qu'il a identifié sur ce territoire particulier. Ainsi Michel Etienne est intervenu, peut être à juste titre, pour insister sur le fait qu'il y avait de nombreuses parcelles de céréales à proximité des zones de garrigue, contre l'avis des techniciens des structures agricoles et de la CANM, et le non entretien de ces parcelles n'aurait sans doute pas été pris en compte par le reste des participants dans les diagrammes.

La ligne de conduite à tenir étant particulièrement délicate en tant que tiers facilitateur, je pense qu'il m'aurait été difficile de tenir ce rôle au cours de la co-construction, sans une formation préalable sur la conduite de réunion dans le cadre d'une modélisation d'accompagnement. Cette formation pourrait se faire au travers d'une série de réunions fictives, organisées avec des membres de l'unité de recherche, à la suite desquelles des « débriefings » pourraient être organisés, permettant de bien comprendre et de s'approprier la conduite à tenir.

## **4.2 La validation du modèle NîmetPasLeFeu**

Deux types de validation peuvent être distingués dans le cadre de la modélisation d'accompagnement: une validation technique, concernant les processus de type écologique, biophysique, agronomique ou économique introduits dans le modèle ; et une validation sociale, portant sur la représentation de l'environnement social.

### *4.2.1 Validation technique et validation sociale*

#### **Validation technique**

La validation technique du modèle NîmetPasLeFeu concerne les processus « écologiques » (dissémination du pin, propagation des feux, changement d'état de la végétation), les processus directement liés aux activités humaines (déprise agricole, urbanisation).

Les processus écologiques de dissémination de pins d'Alep et de propagation des incendies, sont basés sur des données expérimentales en écologie et ont été validés dans le cadre du modèle SYLVOPAST. La dissémination du pin d'Alep a néanmoins été remise en cause par la CANM : il a été mentionné que le pin d'Alep pouvait se propager dans les taillis de chêne vert (d'après des constatations établies en 1931, cf. (Mure et Lepart, 2005), phénomène qui n'apparaît pas dans le modèle. Cette colonisation a été mentionnée par ailleurs, mais semble limitée à des taillis de faibles recouvrements, ayant servi de parcours. D'autres observations soulignent à l'inverse une installation du chêne vert dans certains peuplements adultes de pins d'Alep, prélude à la transition vers un modèle forestier de résistance ; ou même la régression combinée des pin d'Alep et chêne vert, dont les causes sont plus ou moins bien connues (fréquence excessive des incendies, changements climatiques, prédation des glands pour le chêne, dégradation des sols) (Hetier, 1993). La prise en compte de ces divers phénomènes pourrait donc être envisageable, et la focalisation sur le seul pin d'Alep ne paraît pas justifiée.

La validité du changement d'état de la végétation dépend fortement de l'âge qui a été donné aux peuplements végétaux à l'état initial. Un moyen pour valider ce processus pourrait être de déterminer, sur un échantillon de placettes forestières choisi sur le territoire, l'âge des pins d'Alep et des chênes verts. Le domaine de validité des courbes de croissance prises pour le pin d'Alep semble pouvoir s'étendre au milieu nîmois. Une analyse de sensibilité du processus de changement d'état pourrait être menée en prenant des hauteurs caractérisant le stade futaie de pin d'Alep comprises entre deux mètres (limite strate arbustive/ strate arborescente, d'après (Bellon *et al.*, 1996) et cinq mètres (hypothèse initiale).

Pour valider la modélisation de la déprise agricole, et de l'urbanisation, une comparaison des rythmes d'évolution modélisés (calculés à partir de simulation) avec les rythmes d'évolution réels (estimés à partir de plusieurs séries de photos aériennes à des dates différentes) pourrait être particulièrement intéressante.

## **Validation sociale**

Une validation sociale du modèle s'élabore à plusieurs stades de la démarche, lors de la co-construction d'une part, lors du jeu de rôles d'autre part.

Lors de la phase de co-construction, chaque nouvel élément apporté est soumis à un débat collectif et doit faire l'objet d'un consensus général pour être pris en compte, ce qui permet de procéder à une première validation sociale du modèle. Ce processus de modélisation – validation a par exemple été marquant pour la modélisation de l'urbanisation : un acteur aménageur a d'abord été proposé par l'urbaniste, puis une controverse a opposé les deux participants ayant une connaissance de l'aménagement du territoire (SAFER et urbaniste). Le compromis établi entre ces deux personnes, qui correspond à une mise en commun de leurs savoirs profanes sur les acteurs de l'aménagement constitue une première validation sociale. Leur proposition commune de distinguer « aménageur urbain » et « aménageur foncier » a été approuvée par l'ensemble des participants, ce qui permet de procéder à une deuxième validation sociale.

Une troisième validation sociale s'opère lors de la phase de jeux de rôles, initialement organisés dans cet objectif (Le Page *et al.*, 2004; Bousquet et Trébuil, 2005). A l'issue du jeu de rôles, un « debriefing à chaud » permet de discuter avec les participants de la manière dont ils ont perçu le jeu et d'évaluer qualitativement l'efficacité du modèle pour les aider dans leurs décisions. Un « debriefing à froid » a été réalisé dans les démarches d'accompagnement les plus récentes, pour permettre aux acteurs de prendre davantage de recul par rapport au jeu de rôles, et essayer d'évaluer l'impact de la démarche d'accompagnement à plus long terme. A ce stade de la modélisation d'accompagnement, il apparaît difficile de valider totalement le modèle NîmesPasLeFeu. Dans le cadre d'un CDD de deux mois à l'Unité Ecodéveloppement faisant suite au stage, j'aurai l'opportunité de poursuivre le projet par la phase de jeu de rôles. Le comportement des élus au cours des sessions de jeu, leurs remarques émises lors des phases de « debriefing » permettront de procéder à cette validation sociale du modèle.

### *4.2.2 Adéquation du modèle aux objectifs fixés*

#### **Représentativité du territoire virtuel**

Trois archétypes communaux ont été identifiés sur le territoire, ce qui a rendu possible la réalisation d'une carte virtuelle comportant trois entités, comme cela avait été proposé au début du projet. On aurait pu considérer un degré de classification supplémentaire dans la typologie établie en prenant en compte des critères de végétation prédominante ou de développement urbain (critère mentionné par le collectif), et réaliser ensuite plusieurs configurations de carte virtuelle. Toutefois, j'ai jugé important de ne pas complexifier la typologie, étant donné le faible nombre de communes concernées (quatorze au total). Une seule configuration a été choisie pour s'extraire de la réalité et élaborer un modèle qui reste simple.

Sur la carte virtuelle, l'utilisation du sol agricole est représentée avec le même degré de détail, que l'on se trouve sur la partie coteau ou sur la partie plaine, pour lesquelles l'enjeu incendie est pourtant très différent (l'habitat éparé et le réseau de routes ne sont par contre pas représentées dans la plaine). On peut se demander si ce choix ne risque pas de détourner l'attention des joueurs sur d'autres problématiques que celle du risque incendie. Pour concentrer l'attention des élus sur le problème des incendies, on pourrait envisager de ne rendre accessible qu'une partie du territoire lors du jeu de rôles.

La carte virtuelle a été validée collectivement par les partenaires du projet, ce qui indique une représentation satisfaisante du territoire. L'identification de lieux réels sur la carte virtuelle

(« la route de Poulx à Cabrières » évoquée pour désigner une route virtuelle) constitue un élément de validation supplémentaire. Toutefois la représentation de la carte a partiellement été remise en cause lors d'une simulation de l'évolution du territoire. Ces remarques ont été prises en compte, en apportant des modifications à la carte virtuelle (surfaces de pins d'Alep) ou au codage des activités (abandon progressif des vignes par tranches de 1 à 10 ha). La validation de la carte virtuelle se fait donc par étapes successives, et doit prendre en compte aspects statique et dynamique.

### **Intégration de l'urbanisation et des activités agricoles**

La modélisation du processus d'urbanisation a été globalement acceptée. Suite aux corrections apportées, concernant principalement l'attractivité et les densités d'habitat, il semble que les simulations réalisées rendent bien compte du phénomène d'urbanisation tel qu'il avait été décrit. Concernant les activités agricoles, on peut souligner un décalage entre les activités qui avaient été évoquées au début du projet, et celles qui apparaissent dans le modèle. La plupart des activités agricoles ne sont en effet pas très représentées sur le territoire à l'heure actuelle, et seront prises en compte dans le jeu comme des opportunités de développement. La modélisation des activités actuellement présentes sur le territoire (céréaliculture, viticulture, arboriculture), ont été approuvées par le collectif, mais des propositions pourront être faites pour ajuster le taux d'abandon des céréales.

### **Capacité du modèle à faire réfléchir à la fermeture des milieux, au risque d'incendie**

La capacité du modèle NîmetPasLeFeu à faire réfléchir sur le risque incendie apparaît pour l'instant difficile à évaluer et ne pourra être testé qu'au moment du jeu de rôles. Toutefois, un certain nombre d'éléments accèdent la capacité du modèle à susciter une réflexion sur le risque incendie. Par exemple, le capitaine des pompiers présent à la co-construction a jugé la simulation du feu convenable, tant dans la forme que dans la surface parcourue. Au cours des simulations réalisées, on visualise bien le rapprochement entre zone urbaine et zone forestière, du fait de l'avancée de l'urbanisation, parfois au détriment de l'espace naturel, plus souvent des espaces agricoles. La fermeture des milieux peut être constatée par l'apparition de friches dans la plaine agricole autour des zones urbaines, la transformation de milieux ouverts (garrigue, friche) en milieux fermés (futaie). Le point de vue `povFriches` permet en outre de visualiser le vieillissement des friches, qui s'accompagne d'une fermeture progressive de la végétation.

Enfin, le passage des incendies concerne souvent les trois communes du territoire, ce qui peut encourager une réflexion des élus à l'échelle intercommunale. Pour donner toutes les chances à cette réflexion de se faire, il faudra envisager de rendre le passage du feu dans les trois communes systématique.

#### *4.3.3 Adaptation du modèle à d'autres contextes*

La question de la généralisation des modèles dans le cadre de la modélisation d'accompagnement est un peu particulière. Une des caractéristiques recherchée du modèle scientifique expérimental classique est sa capacité d'adaptation à une grande diversité de situations.

Mais la modélisation d'accompagnement se revendique comme un processus itératif de recherche, où chaque modèle développé est spécifique d'une situation particulière (ComMod., 2005). La démarche adoptée dans ce projet, que ce soit au niveau du couplage avec le SIG ou au niveau de la co-construction, a conduit à bâtir un modèle spécifique du territoire périurbain nîmois. Toutefois, de nombreux endroits de l'arc méditerranéen sont concernés par le risque

d'incendie et la fermeture des milieux dans un contexte d'étalement urbain, et le modèle NîmetPasLeFeu pourrait servir de support pour d'autres démarches menées auprès des élus des territoires touchés.

Est il possible de rendre l'approche et le modèle NîmetPasLeFeu élaboré applicable dans d'autres situations que celle des quatorze communes du nord de la CANM ? Cette question a été posée par la DDAF à l'échelle du département du Gard et constitue un autre aspect de ma mission au cours du CDD de deux mois faisant suite au stage. D'autres milieux gardois pour lesquels la DDAF considère l'aléa incendie comme un facteur prioritaire à prendre en compte dans les documents d'urbanisme et dans l'aménagement du territoire péri-urbain méditerranéen seront examinés. La validité de ces adaptations devra être testée sur quelques situations types.

La méthode de couplage du SIG avec le SMA a selon moi amené à construire une carte virtuelle très spécifique du territoire de la CANM. Si la DDAF considère que les archétypes communaux établis reflètent suffisamment bien la diversité de situations rencontrées dans les territoires qu'elle aura sélectionnés, on pourra envisager de conserver les grands traits structurants de la carte virtuelle : formes des trois communes, des zones agricole et naturelle. Des modifications ponctuelles dans l'utilisation du sol pourront être effectuées pour s'ajuster à une végétation et des spéculations agricoles différentes, qui n'auront pas le même comportement au feu, et ne connaîtront pas les mêmes évolutions. Les surfaces occupées par l'urbanisation diffuse pourront également être réduites pour représenter des communes à caractère plus rural. On pourra ainsi construire plusieurs configurations de carte, adaptées de la carte virtuelle initiale.

Si la DDAF juge au contraire que les archétypes communaux ne correspondent pas à ce que l'on retrouve dans les territoires sélectionnés, il sera nécessaire de construire une nouvelle carte virtuelle, en reprenant une typologie des communes concernées. Toutefois l'adaptation de la carte virtuelle dépendra aussi du niveau de réalisme que l'on souhaite apporter au jeu de rôle : est il réellement nécessaire de faire jouer les élus sur un territoire virtuel se rapprochant de leur réalité, pour susciter une réflexion sur la prévention des incendies de forêt et l'aménagement du territoire ?

La connaissance accumulée sur les principaux acteurs et processus de l'urbanisation pourrait être selon moi réutilisée dans le cadre de l'adaptation du modèle. Les règles concernant l'attractivité, considérée dans NîmetPasLeFeu comme une fonction de la surface urbanisée, sans prendre en compte d'autres critères comme l'aspect rural, le type de végétation, pourraient être à examiner, car ce critère constitue une composante importante de la répartition des nouvelles zones urbaines sur le territoire. Les activités agricoles seraient à adapter au cas par cas, en fonction des productions les plus représentatives du territoire (par exemple, la trufficulture est très développée aux alentours d'Uzès) et de leurs rythmes d'évolution. Dans le modèle NîmetPasLeFeu, l'acteur Com.Agglo. porte les activités agricoles pouvant faire l'objet d'un redéploiement et représente un rôle particulier souhaité par la CANM. Les modalités d'introduction de l'intercommunalité dans le modèle seraient également à réfléchir, en fonction du niveau d'implication souhaité par ces structures, et des rôles qu'elles occupent.

## CONCLUSION

Dans le cadre de la fin de mes études d'ingénieur agronome, j'ai porté mon choix de stage sur ce projet encadré par Michel Etienne, car il combinait trois aspects qui m'intéressaient particulièrement : une démarche conduite en partenariat avec des acteurs du territoire, une utilisation des SIG, les thèmes de sylvo-pastoralisme et d'agriculture péri-urbaine. Par certains aspects, ce projet s'est révélé différent de l'idée que j'en avais conçue : l'utilisation relativement restreinte du SIG, le thème du sylvo-pastoralisme peu abordé, lié au fait d'un faible dynamisme des activités agricoles sur ce territoire périurbain. La démarche de modélisation d'accompagnement adoptée par les chercheurs ComMod m'a beaucoup surprise et un temps d'adaptation a été nécessaire pour en comprendre tous les aspects.

Pourtant, ce stage a constitué une expérience extrêmement riche. Il a d'abord permis de confirmer mon goût pour les SIG, qui constituent à mes yeux des outils extrêmement intéressants pour la gestion des territoires, car ils permettent de capitaliser de grandes quantités d'information, tout en permettant d'en faire des rendus cartographiques facilement compréhensibles. Mais j'ai également pu constater les limites de ces technologies récentes, qui peuvent rassembler des données de qualité très variable (échelle inadaptée pour le territoire d'étude, manque de données). Les cartes produites sont certes attrayantes, mais doivent être manipulées avec de grandes précautions.

La mise en oeuvre d'une démarche de modélisation d'accompagnement, démarche parmi d'autres de concertation pour la gestion de l'environnement et le partage des ressources, s'est révélée ardue mais passionnante, et m'a donné le goût de la médiation environnementale. J'ai particulièrement apprécié cette confrontation provoquée entre acteurs issus de sphères professionnelles différentes, qui ne sont normalement pas appelés à se côtoyer dans leur quotidien. Les échanges qui ont eu lieu m'ont permis de mieux appréhender la diversité des points de vue que l'on peut rencontrer sur une même question environnementale, et la complexité des écosystèmes dans lesquels nous évoluons dans notre quotidien. La médiation environnementale demande à mon avis une certaine expérience professionnelle. Toutefois, dans le cadre de mon futur métier d'ingénieur agronome, j'espère poursuivre dans ce domaine de la gestion collective des territoires, en partenariat avec une multiplicité d'acteurs, et notamment avec les nouveaux acteurs de gestion territoriale que sont les intercommunalités.

## BIBLIOGRAPHIE

### Ouvrages et périodiques

- A.U.D.R.N., 2004, *SCoT du Sud Gard - Diagnostic territorial*. 80 p.
- ABBAS H., 1986, La productivité des forêts de Pin d'Alep dans le sud-est méditerranéen français. Analyses écodendrométriques. *Options méditerranéennes, CIHEAM*, 86(1), <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/s10/CI010858.pdf>, pp. 127 - 156.
- ALEXANDRIAN D., RIGOLOT E., 1992, Sensibilité du pin d'Alep à l'incendie. *Forêt méditerranéenne*, 13(3), pp. 185 - 198.
- BARRETEAU O., DARE W., ETIENNE M., MATHEVET R., 2006, *Usage des jeux de rôles en modélisation d'accompagnement: Mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques*. Ecole-chercheurs, Chateauneuf de Gadagne (84), 250 p.
- BELLON S., CABANNES B., DIMANCHE M., GUÉRIN G., GARDE L., MSIKA B., 1996, Les ressources sylvopastorales des chênaies méditerranéennes. *Forêt méditerranéenne*, 17(3), pp. 197 - 209.
- BEURET J.-E., 2006, Dialogue et concertation dans les réserves de biosphère: problématique et enjeux. In: *Biodiversité et acteurs: des itinéraires de concertation.*, Bouamrane E., UNESCO, Paris, 1-2006, pp. 8 - 21.
- BONIN M., THINON P., CHEYLAN J.-P., DEFFONTAINES J.-P., 2001, La modélisation graphique, de la recherche au développement. In: *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision*, Repères, CIRAD-INRA, pp. 391 - 412.
- BOUSQUET F., TRÉBUIL G., 2005, Introduction to companion modelling and multi-agents systems for integrated natural resource management in Asia. In: *Companion Modeling and Multi-Agent Systems for Integrated Natural Resource Management in Asia*, Bousquet F., Trébuil G., Hardy B., IRRI, Los Banos, pp. 1 - 20.
- C.R.P.F., 2001, *Forêts privées des Garrigues, Orientations de Gestion*. Orientations Régionales de Production Languedoc-Roussillon, Schéma Régional de Gestion Sylvicole, CRPF, 2, 28 p.
- CAMPO P. C., 2005, Integrating multi-agents systems and geographic information systems modeling with remote sensing data for participatory natural resource management in Coastal Bohol, Philippines. In: *Companion Modeling and Multi-Agent Systems for Integrated Natural Resource Management in Asia*, Bousquet F., Trébuil G., Hardy B. (eds), IRRI, Los Banos, pp. 255 - 274.
- CASTELLA J.-C., TRUNG. T. N., BOISSAU S., 2005, Participatory simulation of land-use changes in the northern mountains of Vietnam: the combined use of an agent-based model, a role playing game, and a Geographic Information System. *Ecology and Society*, 10(1), <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art27>, pp. 27.
- CHEYLAN J.-P., DEFFONTAINES J.-P., LARDON S., THERY H., 1990, Les chorèmes: un outil pour l'étude de l'activité agricole dans l'espace rural. *Gestion de l'espace rural, des pratiques aux modèles*. *Mappemonde*, 90(4), pp. 2 - 9.
- COMMOD. C., 2005, La modélisation comme outil d'accompagnement. *Nature, Sciences, Sociétés*, 13, pp. 165 - 168.
- D.D.A.F.GARD., 2004, *Plan Départemental de Protection des Forêts contre les Incendies 2005-2011 Gard*. Préfecture du Gard, 224 p.

- D.D.A.F.GARD., 2005, *Plan de Contrôle de l'Obligation Légale de Débroussaillage 2005*. Préfecture du Gard, 15 p.
- D.D.A.F.GARD., O.N.F., 30. S. D. I. S., 2004, *Premier bilan du feu du 27 juillet 2004 sur Cabrières, Marguerittes, Poulx, et Saint-Gervasy: Note au préfet*, 7 p.
- D'AQUINO P., ETIENNE M., BARRETEAU O., 2001, Jeux de rôle et simulation multi-agents. In: *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision*, Repères, CIRAD - INRA, pp. 373 - 390.
- DUCREY M., 1996, Recherche et expérimentations sur la conduite sylvicole des peuplements de chêne vert. *Forêt méditerranéenne*, 17(3), pp. 151 - 168.
- DUPUY J.-L., 2000, Apports de la physique du feu. In: *Conception des coupures de combustible*, Réseau Coupures de Combustible, Editions de la Cardère, Morières, 4, pp. 29 - 40.
- DUREAU R., AUSSIBAL G., BROUSSE-GENEVÊT E., CLOPEZ M., ETIENNE M., KMIÉC L., RIGOLOT E., DE ROUVILLE S., 2003, *Gestion des Garrigues à chêne kermès sur coupures de combustible*. Réseau Coupures de Combustible, Editions de la Cardère, Morières, 8, 83 p.
- ETIENNE M., 2001, Protection de la forêt méditerranéenne contre les incendies et biodiversité. *Dossier de l'Environnement de l'INRA*, 21(Agriculture et biodiversité des plantes), pp. 139-143.
- ETIENNE M., 2003, SYLVOPAST: a multiple target role playing game to assess negotiation processes in sylvopastoral management planning. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6(2), <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/5.html>.
- ETIENNE M., 2005, *Organisation de l'accès aux ressources et biodiversité: application aux Réserves de Biosphère françaises*, IFB, 8 -12 p.
- ETIENNE M., 2006, La modélisation d'accompagnement: un outil de dialogue et de concertation dans les réserves de biosphère. In: *Biodiversité et acteurs, des itinéraires de concertation*, Réserves de biosphère, notes techniques, UNESCO, Paris, 1-2006, pp. 44 - 52.
- ETIENNE M., ARONSON J., LE FLOCH E., 1998, Abandoned Lands and Land Use Conflicts in Southern France. In: *Landscape Disturbance and Biodiversity in Mediterranean-Type Ecosystems*, Springer, 136, pp. 127 - 140.
- ETIENNE M., LE PAGE C., COHEN M., 2003, A Step-by-step Approach to Building Land Management Scenarios Based on Multiple Viewpoints on Multi-agent System Simulations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6(2), <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/2.html>.
- FAYEIN M., 2003, *Elaboration d'un outil d'accompagnement de projets d'aménagements pour la prévention des incendies de forêts*. Mémoire de fins d'études, INA P-G, Paris, 53 p.
- GODFRIN V., LE GOFF E., 2003, Plans de Prévention des Risques Incendie de Forêt et acceptabilité des contraintes, Eléments de réflexions juridiques. *Forêt méditerranéenne*, 24(4), pp. 435 - 444.
- HETIER J.-P., 1993, *Forêt méditerranéenne: vivre avec le feu ? Eléments pour une gestion patrimoniale des écosystèmes forestiers littoraux*. Les Cahiers du Conservatoire du Littoral, Conservatoire de l'Espace Littoral et les Rivages Lacustres, 2, 140 p.
- JAPPIOT M., LAMPIN C., BORGNIET L., LONG M., DUMAS E., PRUVOST J.-C., 2006, *Caractérisation des types d'interfaces habitat-forêt : l'apport de la télédétection et des*

- SIG. Colloque International Los incendios forestales en el Mediterraneo: nuevas aproximaciones para una problemática antigua, Casa de Velazquez, Madrid, Espagne, 20 p.
- LAMBERT B., CASTEIGNAU D., COSTA M., ETIENNE M., JEAN-LUC. G., RIGOLOTT E., 1999, *Analyse après incendies de six coupures de combustible*. Réseau Coupures de Combustible, Editions de la Cardère, Morières, 2, 45 p.
- LE PAGE C., BOMMEL P., 2005, A methodology for building agent-based simulations of common-pool resources management: from a conceptual model designed with UML to its implementation in CORMAS. In: *Companion modeling and Multi-Agent Systems for Integrated Natural Resource Management in Asia*, Bousquet F., Trébuil G., Hardy B. (eds), IRRI, Los Banos, pp. 327 - 350.
- LE PAGE C., D'AQUINO P., ETIENNE M., BOUSQUET F., 2004, Processus participatifs de conception et d'usage de simulations multi-agents. Application à la gestion des ressources renouvelables. In: *Systèmes multi-agents: défis scientifiques et nouveaux usages*, Boissier O., Guessoum Z. (eds), Hermès, Paris, pp. 33 - 46.
- LEVREL H., ISSA M.-S., KANE L., AMBOUTA K., MAIGA M., MILLOGO-RASOLODIMBY J., PITY B., 2006, Co-construction dans six réserves de biosphère d'Afrique de l'Ouest: à la recherche d'indicateurs d'interactions pour gérer la biodiversité. In: *Biodiversité et acteurs : des itinéraires de concertation.*, Réserves de biosphère. Notes techniques, Bouamrane E. (ed), UNESCO, Paris, 1-2006, pp. 53 - 64.
- LO SEEN D., ARREOLA M., CLOPES A., SCOPEL E., BÉGUÉ A., 2001, Coupler modèle agronomique et système d'information géographique. In: *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision*, Repères, CIRAD - INRA, pp. 283 - 302.
- MORSHED ANWAR S., BORNE F., 2005, Dynamic simulation of land-use changes in a periurban agricultural system. In: *Companion modelling and Multi-Agent Systems for Integrated Natural Resource Management in Asia*, Bousquet F., Trébuil G., Hardy B. (eds), IRRI, Los Banos, pp. 237 - 254.
- MURE V., LEPART J., 2005, L'école de Nîmes, les conceptions de la gestion forestière en région méditerranéenne de Roger Ducamp, conservateur des Eaux et Forêts (1861 - 1938). *Bulletin de la Société d'Etude des Sciences Naturelles de Nîmes et du Gard*, 65, pp. 28 - 37.
- ROCHE B., 1996, *Des herbivores de loisir en région péri-urbaine, rôle social et impact sur le territoire. Essai de repérage et d'analyse dans les Garrigues du Montpelliérais*. Programme de recherche sur le développement régional Région Languedoc-Roussillon INRA-DADP, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 87 p.
- SERRANO J., 2005, Quel équilibre entre urbanisation et préservation des paysages agricoles périurbains ? *Développement durable & territoires*, 4 (La ville et l'enjeu du développement durable), <http://developpementdurable.revue.org/document1605.html>, pp. 5.
- ZUNGA Q., VAGNINI A., LE PAGE C., TOURÉ I., LIEURAIN E., BOUSQUET F., 1999, Coupler Systèmes d'Informations Géographiques et Systèmes Multi-Agents pour modéliser les dynamiques de transformation des paysages. Le cas des dynamiques foncières de la moyenne vallée du Zambèze (Zimbabwe). In: *Modèles et Systèmes Multi-Agents pour la Gestion de l'Environnement et des Territoires*. Coordinateur Nils Ferrand. Actes du colloque SMAGET, Clermont-Ferrand, 5 au 8 Octobre 1998, Cemagref, pp. 193 - 206.

## **Cédéroms**

Recensement Agricole 2000, La fiche comparative Languedoc-Roussillon, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Agreste

Gestion des territoires : l'agriculture a sa place !, Diagnostics et perspectives sur la base des évolutions croisées de données démographiques, sectorielles et agricoles, Chambre d'Agriculture du Gard, avec le soutien du Conseil Général du Gard, Juillet 2005

## **Sites Internet**

La banque de données sur les incendies de forêt en région méditerranéenne en France, <http://www.promethee.com/prom/home.do>

Direction Régionale de l'Environnement Languedoc-Roussillon, <http://www.languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr>

CORMAS Ressources naturelles et Systèmes Multi-Agents, <http://cormas.cirad.fr>

Journal of Artificial Societies and Social Simulation, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk>

## LISTE DES ABREVIATIONS

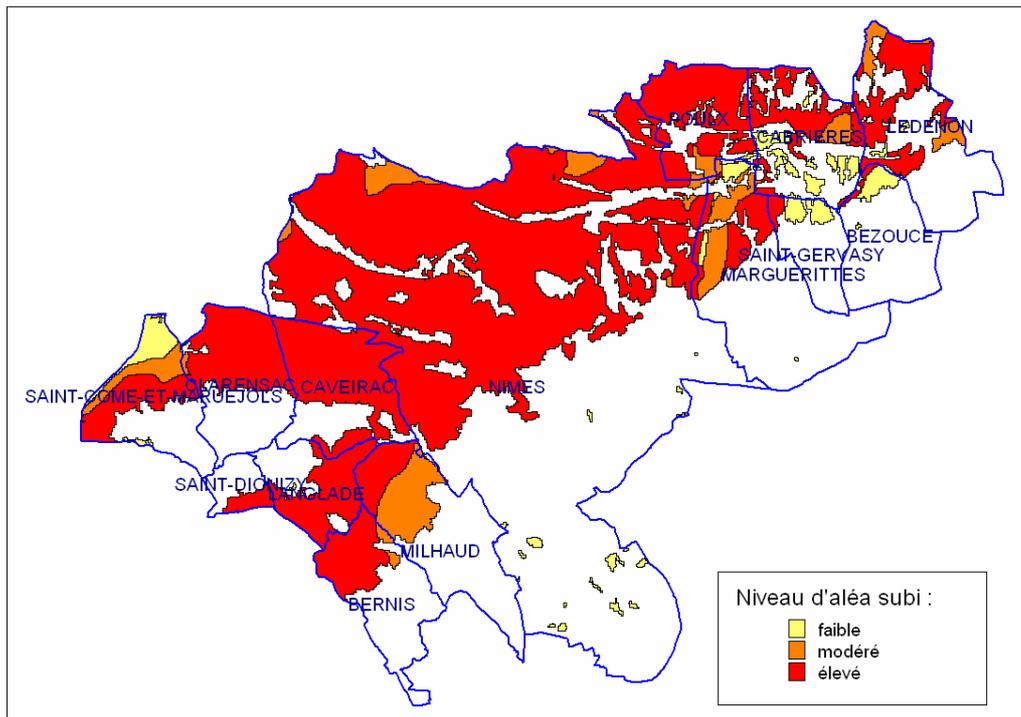
AOC	Appellation d'Origine Contrôlée
ARDI	Acteurs Ressources Dynamiques Interactions
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASF	Autoroutes du Sud de la France
AUDRN	Agence d'Urbanisme et de Développement de la Région Nîmoise
CANM	Communauté d'Agglomération « Nîmes Métropole »
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
ComMod	Companion Modelling ("Modélisation d'Accompagnement")
Cormas	Common-pool Resources and Multi-Agents Systems
CRPF	Centre Régional de la Propriété Forestière
CV	Chêne vert
DDAF	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
DDE	Direction Départementale de l'Équipement
DFCI	Défense des Forêts Contre l'Incendie
DIREN	Direction Régionale de l'ENVironnement
EPCI	Etablissement Public de Coopération Intercommunale
IFN	Inventaire Forestier National
IGN	Institut Géographique National
INA P-G	Institut National Agronomique de Paris-Grignon
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
ONCFS	Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage
ONF	Office National des Forêts
PA	Pin d'Alep
PAC	Politique Agricole Commune
PFCI	Protection des Forêts Contre l'Incendie
PLU	Plan Local d'Urbanisme
POS	Plan d'Occupation des Sols
PPRif	Plan de Prévention des Risques incendies de forêts
PSG	Plan Simple de Gestion
RGA	Recensement Général Agricole
SAFER	Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural
SAU	Surface Agricole Utile
SDAFI	Schéma Départemental d'Aménagement des Forêts Contre l'Incendie
SDIS	Service Départemental d'Incendie et de Secours
SIG	Système d'Information Géographique
SIME	Service Inter - chambre Montagne Elevage
SIVU	Syndicat Intercommunal à Vocation Unique
SMA	Système Multi – Agents

## ANNEXE

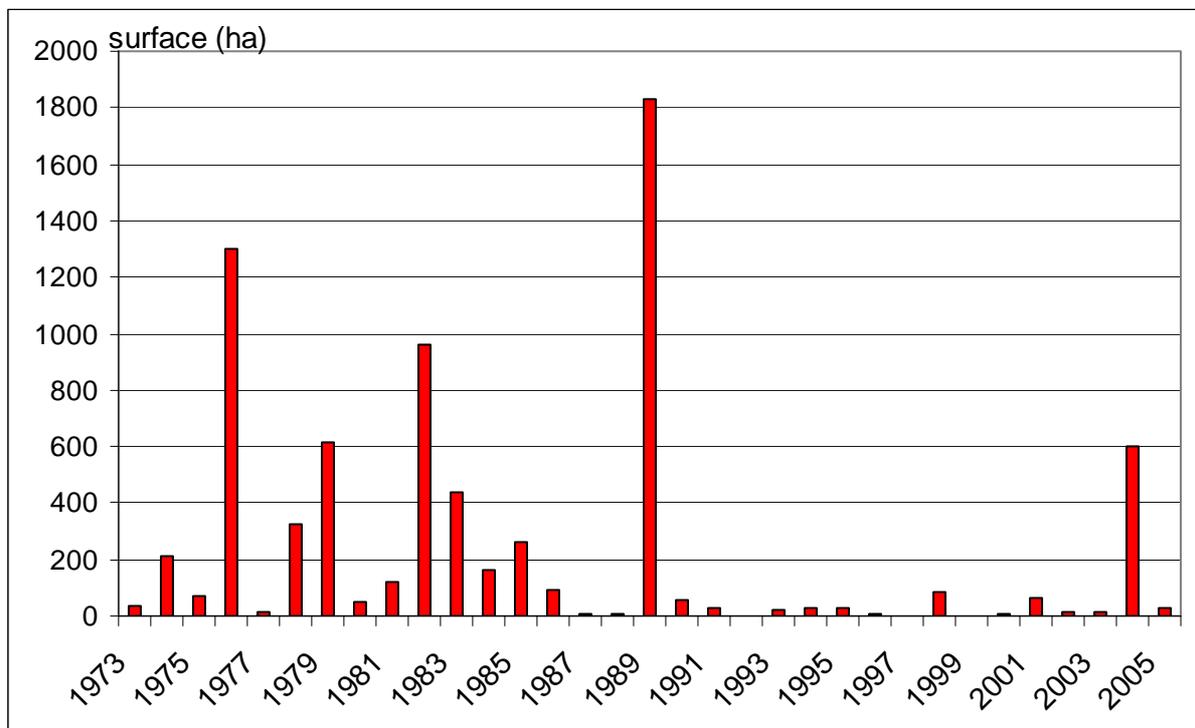
<b>Annexe 1</b> .....	<b>61</b>
Le risque d'incendie sur le territoire de Nîmes Métropole	
<b>Annexe 2</b> .....	<b>61</b>
Deux aspects majeurs du dispositif de prévention des incendies de forêts	
<b>Annexe 3</b> .....	<b>63</b>
Olivette et friches	
<b>Annexe 4</b> .....	<b>63</b>
Descriptif des activités agricoles	
<b>Annexe 5</b> .....	<b>65</b>
Le plateau de jeu	
<b>Annexe 6</b> .....	<b>66</b>
Statistiques sur les zones naturelles	
<b>Annexe 7</b> .....	<b>67</b>
La coupure de combustible	
<b>Annexe 8</b> .....	<b>68</b>
La séquence d'urbanisation en formalisme logique	
<b>Annexe 9</b> .....	<b>69</b>
Le diagramme de séquence du modèle	
<b>Annexe 10</b> .....	<b>70</b>
Point de vue et sonde	
<b>Annexe 11</b> .....	<b>70</b>
Simulation et ajustement du taux d'abandon des céréales	
<b>Annexe 12</b> .....	<b>71</b>
Simulation et dissémination du pin d'Alep	

## ANNEXE 1

### Le risque d'incendie sur le territoire Nîmes Métropole



Carte d'aléa incendie subi sur le territoire (source : BD 2SiGard, DDAF 30)



Total des surfaces incendiées annuellement sur le territoire de Nîmes Métropole depuis 1973 (Source : BD Prométhée)

## ANNEXE 2

Deux aspects majeurs du dispositif de prévention des incendies de forêts :  
les pistes DFCI et le débroussaillage obligatoire par les particuliers



Deux pistes DFCI avec bandes de sécurité débroussaillées (commune de Clarensac, 2004)  
Source : Nîmes Métropole

### LES VÉGÉTAUX À COUPER ET À ÉLIMINER

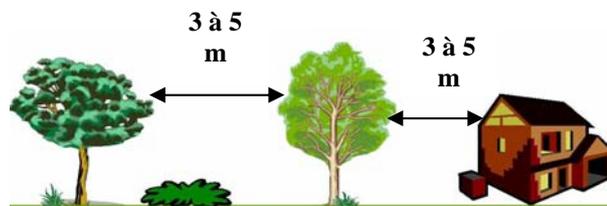
- . les herbes hautes,
- . les végétaux morts,
- . le sous-bois, les buissons et les arbustes,
- . certains arbres, en densité forte supérieure à 200 tiges par hectare,

### LES VÉGÉTAUX QUI PEUVENT ÊTRE CONSERVÉS

- . des jeunes arbres éloignés les uns des autres de 2 m minimum,
- . des touffes isolées d'arbustes occupant chacune une superficie inférieure à 10 m<sup>2</sup>, et éloignées les unes des autres de 2 m,
- . de grands arbres isolés, à condition que le bord extérieur de leurs branches respectives soient espacés de 3 à 5 mètres au moins, et que le bord externe de leur houppier soit éloigné de 3 à 5 m du bord extérieur de toute habitation.



Avant débroussaillage



Après débroussaillage

### Cas de grands arbres isolés

La mise en œuvre du débroussaillage par les particuliers préconisé par la DDAF

Source : DDAF 30

### **ANNEXE 3**

Olivette et friches



*Des olivettes permettant de maintenir le milieu ouvert (commune de Milhaud, mai 2006, M. Bourgeois)*



*Vue d'une sortie de village occupée par des friches pâturées par des chevaux (commune de Caveirac, mai 2006, M. Bourgeois)*

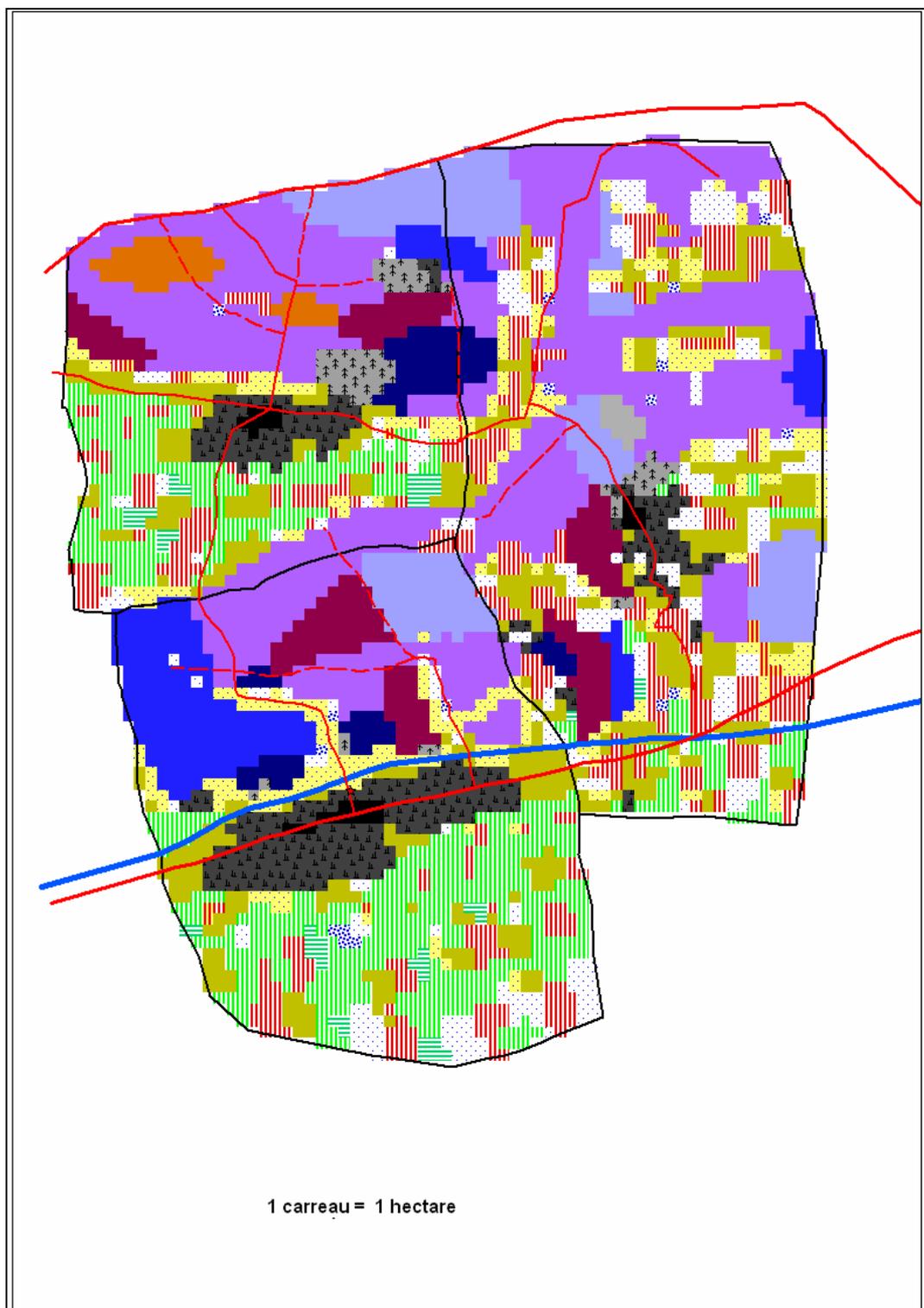
### **ANNEXE 4**

Descriptif des activités agricoles, résultat des entretiens avec les techniciens

	situation actuelle	dynamique
viticulture	Forte présence, avec une prédominance des vignes produisant des vins de table/ vins de pays, par rapport aux vignes AOC (Côteaux du Languedoc sur deux communes, dont Nîmes, Costières de Nîmes).	Arrachage assez modéré, localisé dans la zone de plaine. Des plantations ont été réalisées, notamment en garrigues dans l'aire AOC (40 ha implantées en 2004)
oléiculture	Les olivettes sont nombreuses, la superficie oléicole d'une commune atteignant jusqu'à 40 ha (plus faible dans les communes de la Vaunage) L'AOC "huile olive de Nîmes" concerne tout le territoire	Plantation d'oliviers encouragés par le Plan de Relance Oléicole (1996) mais contexte difficile du fait de surproduction
élevage caprin	Dix communes dans l'aire AOC "Pélardon". Deux élevages caprins dans lesquels les chèvres pâturent en garrigue (un à Nîmes)	Appelé à se développer: 5 à 6 installations / an dans le département
élevage ovin	Une partie du territoire (dans quatre communes, dont Nîmes) sert d'étape pour élevage ovin transhumant, avec quatre -cinq éleveurs (printemps - automne) venant des Bouches-du-Rhône.	Perte de vitesse de l'élevage ovin, depuis l'arrêt du soutien par les forestiers (1995)
élevage bovin	Deux manades de taureaux de Camargue sur la zone (dont une de 40 ha à Nîmes) AOC "taureau de Camargue" sur tout le territoire	Appelé à se développer, de plus en plus d'éleveurs recherchant des terres de replis en garrigues
trufficulture/ sylviculture truffière	Truffières plantées et naturelles sur au moins deux communes. Localisées en plaine ou en garrigue. La superficie des truffières naturelles peut être très faible (1000 m <sup>2</sup> pour 5 ha de parcelle forestière).	Des plantations ont été réalisées depuis 1997 grâce à l'animation du Syndicat des Trufficulteurs Gardois. Elles se concentrent surtout sur la partie est (influence de l'Uzège, où se situe le Syndicat)
gestion forestière	Un quart du massif forestier est sous gestion de l'ONF. Peu d'interventions réalisées hors du cadre DFCL, qui comprennent le débroussaillage des pistes et des routes. Un plan de gestion est en cours pour coupes de taillis dans une commune, concernant 60-80 ha sur 15 ans.	Sylviculture plus ou moins suspendue depuis 6 à 8 ans. Coupes de bois amenées à se développer du fait du regain du bois de chauffage ?
sylviculture privée	Peu d'interventions par forestiers en forêt privée. Une garantie de gestion durable pour 4,5 ha (10 ans), Un plan Simple de Gestion à Nîmes pour 35 ha Probablement des coupes de bois réalisées par les propriétaires privés mais non déclarées.	Quatre Plans Simples de Gestion expirés, qui n'ont pas été renouvelés (272 ha)
chasse	Toutes les communes possèdent une société de chasse (Nîmes en compte sept). Chasse de petit gibier dans plaine, de grand gibier dans le massif forestier	Fort dynamisme.

## ANNEXE 5

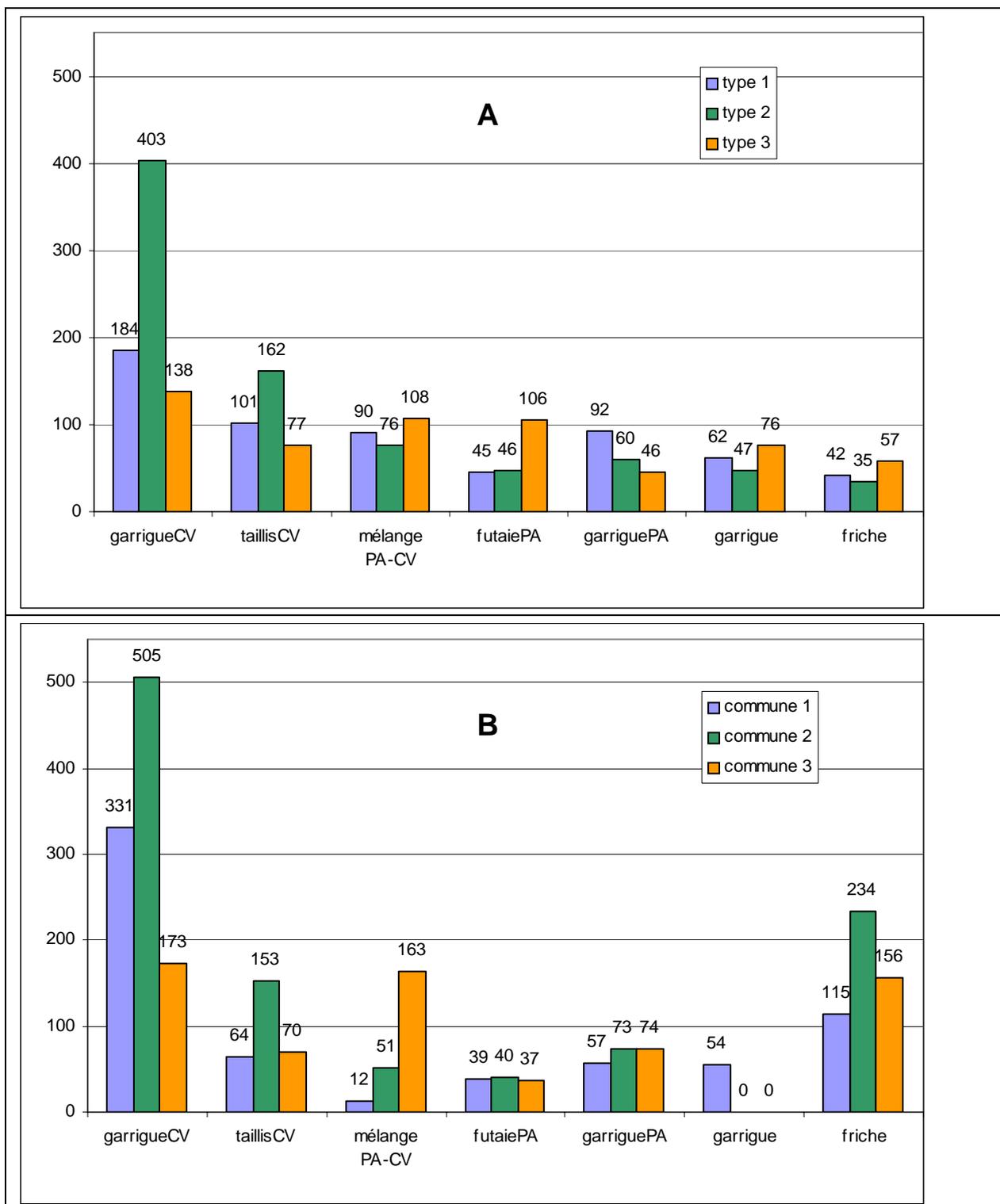
Le plateau de jeu



La carte raster avec une maille de 1 ha, choisie par le collectif comme plateau de jeu

## ANNEXE 6

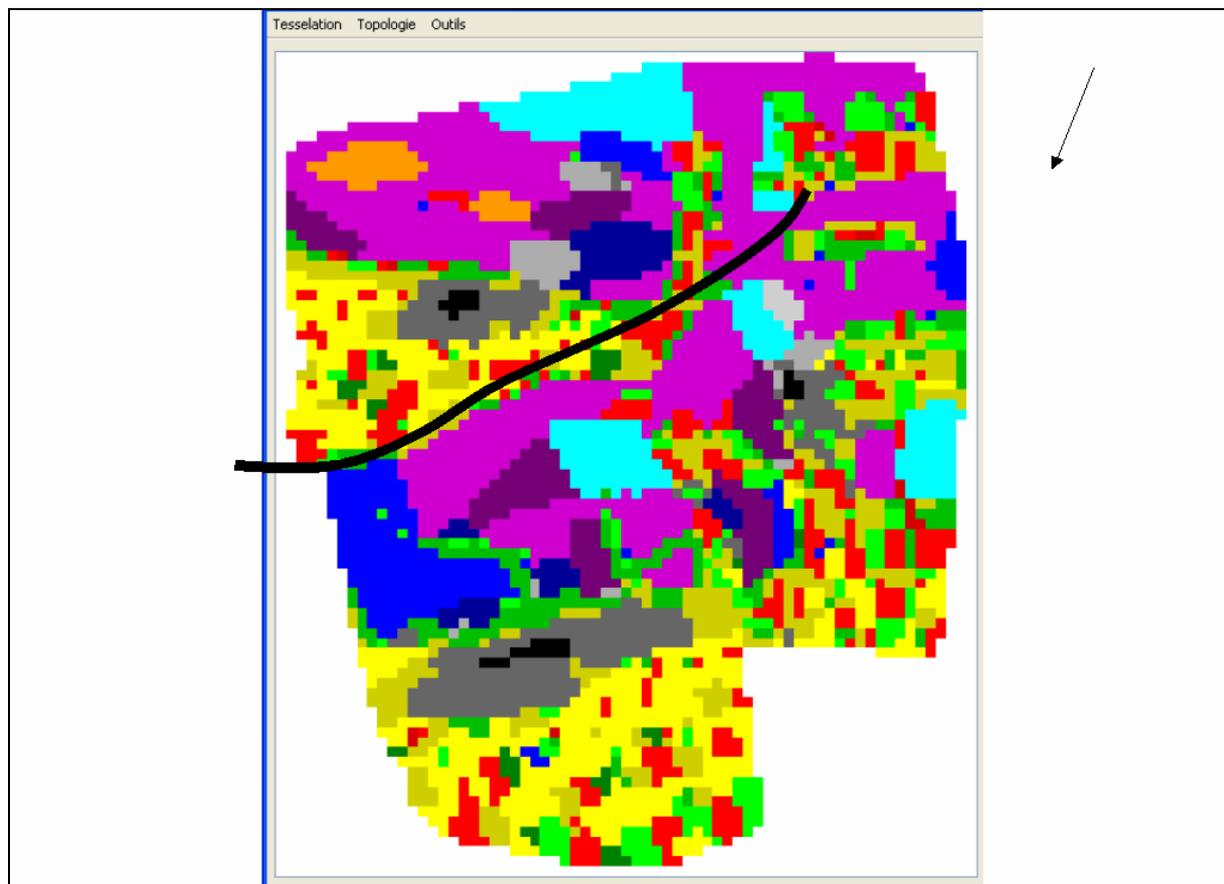
### Les statistiques sur les zones naturelles



La Comparaison des surfaces couvertes par les types forestiers dans le **zonage IFN** de 2000 (**graphe A**, issu de statistiques SQL par groupe des communes de type « groupé », « dispersé », ou « intermédiaire » du territoire) et des surfaces couvertes par les catégories naturelles dans **la première carte virtuelle** (**graphe B**, issu de statistiques SQL par commune 1, 2 ou 3), a permis d'établir une carte virtuelle corrigée.

## ANNEXE 7

### La coupure de combustible



*Tracé de la coupure de combustible défini lors de la réunion de co-construction (la flèche en haut à droite indique le sens du vent)*

## ANNEXE 8

### La séquence d'urbanisation en formalisme logique

URBANISATION

Version du 12 juillet 2006

#### Construction de nouveaux lotissements:

L'**AménageurUrbain** est sensible à **pressionUrbaine** (50 à 100 logements/ an) et la répercute aux **Maires** sous la forme de **demandeUrbaine**, modulée par la **surfaceUrbanisée** de chaque **commune**.  
L'**AménageurUrbain** propose aux **Maires** de construire sur **Friches** non inondables situées autour de **UrbanisationDiffuseEnZoneAgricole (zoneUA) n habitations** (n étant proportionnel à la **demandeUrbaine**).

S'il reste des cellules sans habitations en **zoneUA** alors:

- Le **Maire** décide de la **densitéHabitationsZoneAgricole** par hectare pour un nouveau lotissement en **zoneUA** (varie de 15 à 20 logements/ha)
- Le **Maire** fait construire (**n habitations** / **densitéHabitationsZoneAgricole**) cellules par **AménageurUrbain** en **zoneUA**
- L'**utilisationDuSol** de ces cellules passe de friche à urbanisation diffuse en zone agricole.

Sinon le **Maire** revise son POS :

S'il reste des **Friches** non inondables alors:

- il rajoute en **zoneUA** les **Friches** non inondables situées autour de la **zoneUA précédente**
- Le **Maire** fait construire (**n habitations** / **densitéHabitationsZoneAgricole**) cellules par **AménageurUrbain** en **zoneUA**
- L'**utilisationDuSol** de ces cellules passe de friche à urbanisation diffuse en zone agricole.

Sinon le **Maire** décide de la **densitéHabitationsZoneNaturelle** par hectare pour un nouveau lotissement dans les **Garrigues** ou **Futaie** ou **Melange** ou **Taillis** situées au contact de l'**UrbanisationDiffuseZoneNaturelle (zoneUF)** (de 10 à 15 logements /ha)  
Le **Maire** fait construire (**n habitations** / **densitéHabitationsZoneNaturelle**) cellules par l'**AménageurUrbain** en **zoneUF**  
L'**utilisationDuSol** de ces cellules passe de garrigue ou futaie ou melange ou taillis à urbanisation diffuse en zone naturelle.

#### Densification de l'habitat:

Tant que le **nombreHabitants** est inférieur à 400 habitants/ ha dans le **Village**, alors le **Maire** densifie le **Village** en ajoutant 10 habitants/ ha chaque année.

#### Légende :

**PressionUrbaine** : attribut  
**Maire** : agent  
**Friches** : entité spatiale

La séquence d'urbanisation exécutée par l'acteur Maire dans le modèle NîmetPasLeFeu

## ANNEXE 9

### Diagramme de séquence du modèle

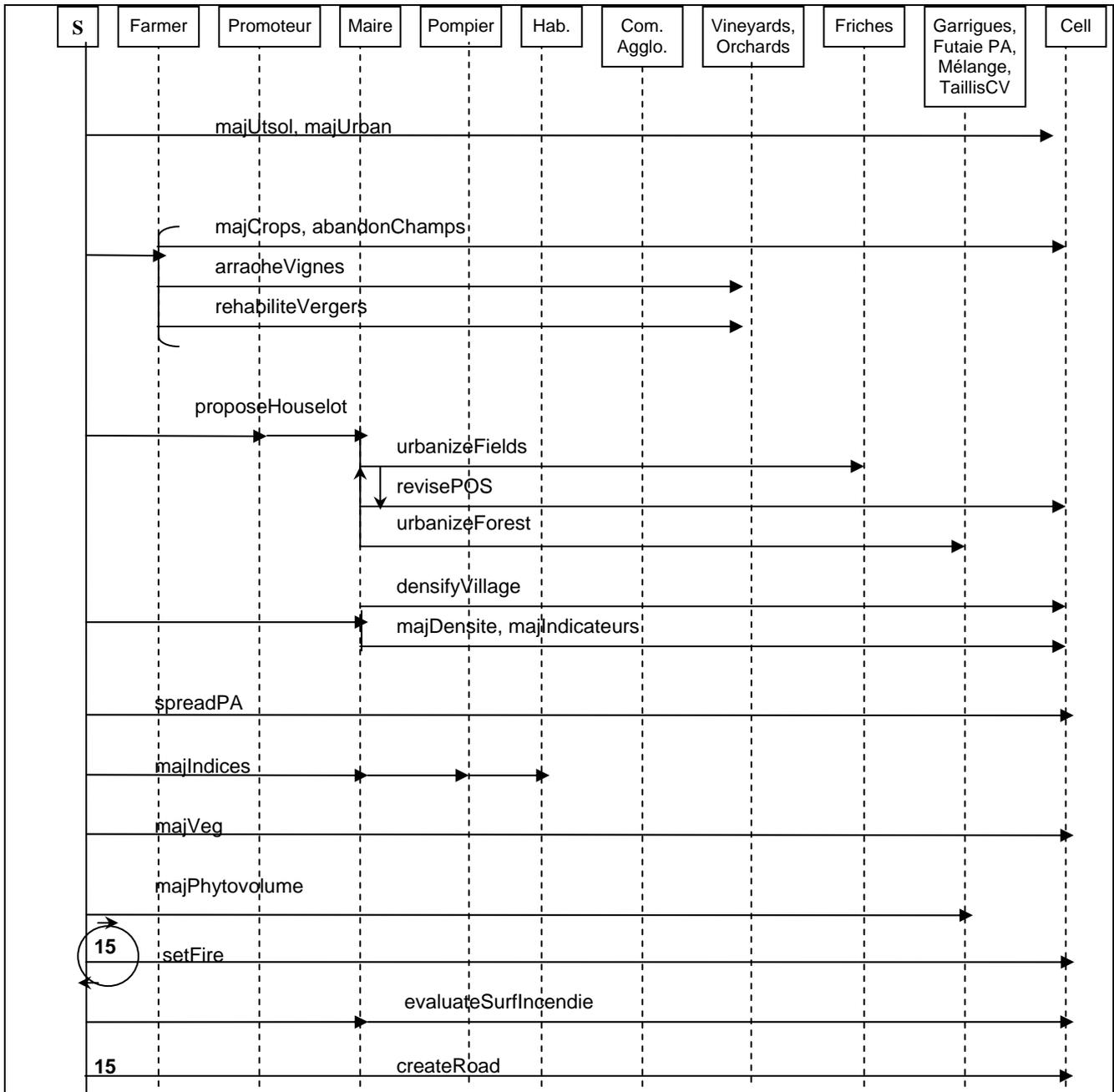
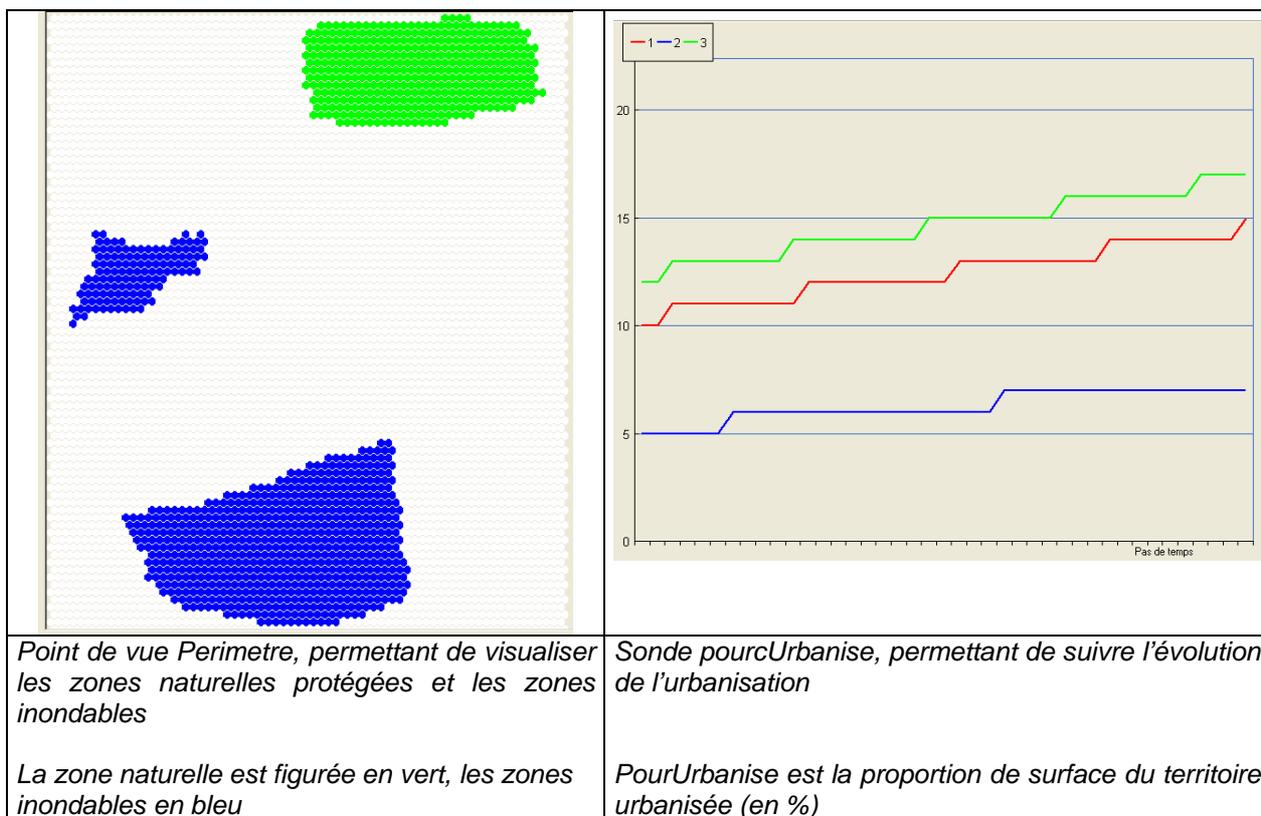


Diagramme de séquence du modèle NîmetPasLeFeu

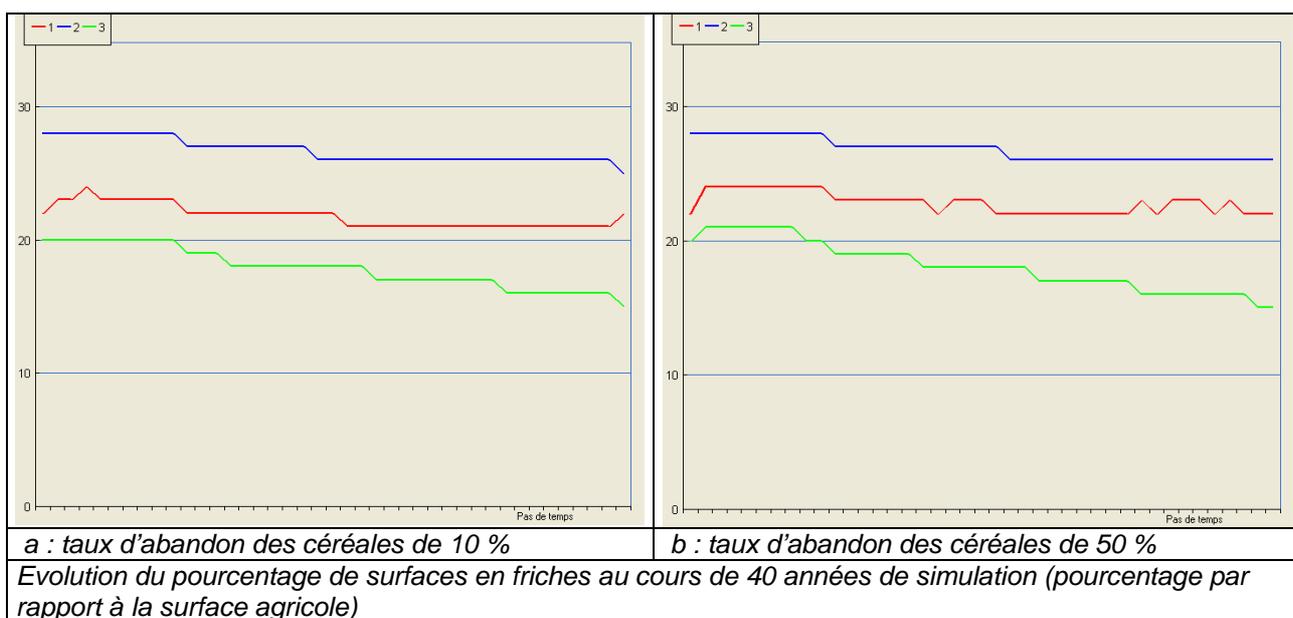
## ANNEXE 10

### Point de vue et sonde



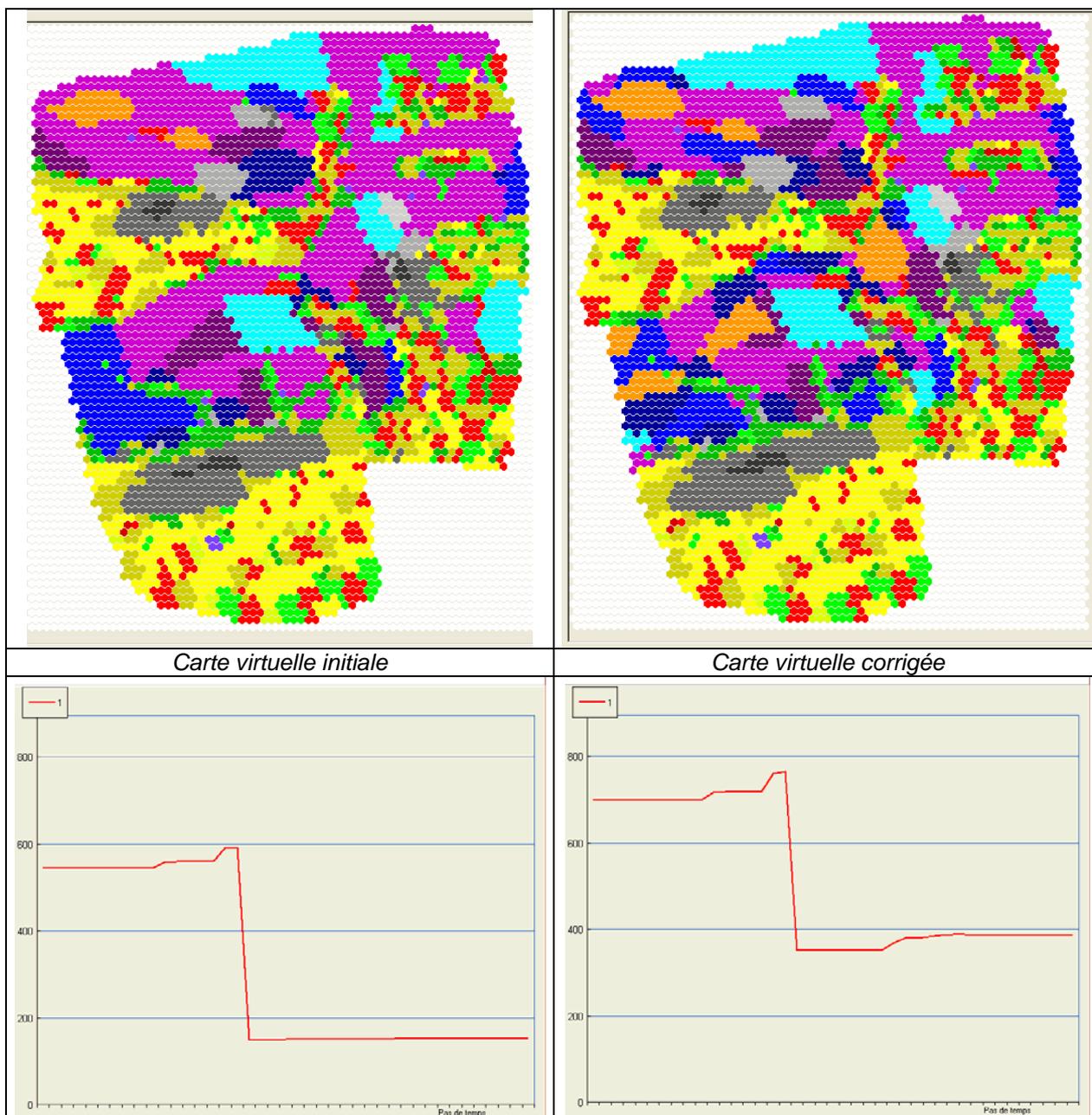
## ANNEXE 11

### Simulations et ajustement du taux d'abandon des céréales



## ANNEXE 12

### Simulation de la dissémination du pin d'Alep



Evolution de la surface de pin d'Alep au cours de 40 années de simulations, sur la carte virtuelle initiale et la carte virtuelle corrigée

## *Abstract*

Faced with a more and more challenging forest fire prevention, that questions the landscaping of the contact zone between buildings and forest, the “Communauté d’Agglomération” of Nîmes Métropole, and the Agricultural and Forestry Department Direction called on the INRA Ecodeveloppement research unit to build a tool designed to support the maires in their decision-making process, as there are directly concerned with this issue. The approach was applied to fourteen localities in the periurban area of the Mediterranean French town of Nîmes.

During my internship at INRA, I constructed the agent-based model called “NîmetPasLeFeu”, the first step of the companion modelling approach, an original research process based on formalizing local knowledge to understand the functioning of complex ecosystems. I called on land managers, engineers, and direct actors, that are representative of the main activities performed in the area, to participate in the conceptual model design (ten people in overall). During a co-construction meeting, the group described the agents, the dynamics and the interactions between agents and resources that it considered important to take into account in regards to fire prevention, on a landscape represented by a virtual map locating the main resources of the area. The virtual map, aggregated three contiguous districts and was based on a cartographic study using a Geographical Information System.

Apart from some difficulties to pass from real to virtual world, the model represented ecological processes (Aleppo pine dispersal, fire propagation), the main agents (maire, farmer...), and their activities (estate development, stubble clearing...). It was validated by the group of actors during collective meetings. Its adaptation into a role-playing game will help the maires to think together about alternative ways for landscaping the interface between urban and forest areas, and for preserving a sustainable land-management.

## *Résumé*

Face à une prévention du risque incendies de forêt de plus en plus problématique, remettant en question l'aménagement des zones de contact entre habitat et forêt, la Communauté d'Agglomération Nîmes Métropole et de la DDAF du Gard ont fait appel à l'Unité Ecodéveloppement de l'INRA pour mettre en place, au niveau de quatorze communes situées dans l'aire périurbaine de Nîmes, un outil visant à accompagner les prises de décisions des élus locaux, qui ont un rôle important à jouer dans cette problématique.

Au cours de mon stage, j'ai élaboré le modèle multi-agents « NîmetPasLeFeu », première étape de la démarche de modélisation d'accompagnement proposée par l'Unité Ecodéveloppement, démarche de recherche originale qui se base sur la connaissance des acteurs locaux pour appréhender le fonctionnement des écosystèmes complexes. J'ai fait appel à des gestionnaires, des techniciens et des acteurs directs, représentatifs des principales activités utilisatrices du territoire, pour participer à la construction du modèle (dix personnes au total). Au cours d'une réunion de co-construction, ce collectif a décrit les acteurs, les dynamiques et les interactions entre acteurs et ressources qu'il jugeait pertinents à prendre en compte par rapport à la problématique incendie, sur la base d'une carte virtuelle, visualisant les ressources du territoire. La carte virtuelle, constituée de trois communes représentatives de l'organisation et de l'occupation du sol rencontrés sur le territoire, a été construite suite à une analyse cartographique sous un Système d'Informations Géographiques.

Malgré le passage parfois délicat d'un territoire concret à un territoire abstrait, le modèle représente à la fois les processus écologiques (dissémination des pins d'Alep, propagation des incendies...), les acteurs (maire, agriculteur...) et leurs activités (construction de lotissements dans la plaine agricole, déchaumage...). Il a fait l'objet d'une validation sociale de la part du collectif d'acteurs. Adapté sous forme de jeu de rôles, nous espérons qu'il suscitera au niveau des maires une réflexion intéressante sur les alternatives d'aménagement des zones d'interface entre habitat et forêt, tel que le déploiement de l'élevage pour maintenir des milieux ouverts, permettant d'assurer un développement plus durable du territoire.