

# Analyse spatiale des interfaces agriculture-forêt-urbain

Marielle Jappiot<sup>a</sup>, Christophe Philibert-Caillat<sup>b</sup>, Laurent Borgniet<sup>a</sup>, Estelle Dumas<sup>ac</sup>, Nathalie Alibert<sup>d</sup>

**C**et article résume une démarche d'analyse spatiale pour cartographier et caractériser les zones d'interface entre les espaces forestiers et les espaces urbains.

L'étude a consisté, à partir d'ortho-photographies, à mettre au point une chaîne de traitements en vue de réaliser une cartographie des zones d'interface entre ces espaces. Une typologie de ces zones est ainsi créée. Cette typologie permettra de regrouper des zones présentant des profils similaires au regard de critères d'aménagement donnés, par exemple l'exposition au risque d'incendie, ou la qualité paysagère d'un site.

Les interfaces habitat/forêt sont présentées dans le contexte du paysage méditerranéen et de la problématique risque d'incendie. La notion de paysage est ensuite abordée par la notion de texture. La méthode est présentée ainsi que les différentes étapes de traitement et les résultats.

L'utilisation des ortho-photographies s'est avérée délicate de part leur grande hétérogénéité. Cependant, la méthode mise au point est reproductible sur d'autres types de données, ce qui permettra la cartographie des interfaces sur des zones plus vastes.

## Les interfaces dans le paysage méditerranéen

### Le contexte méditerranéen

#### RECOMPOSITION DES ACTIVITÉS AGRICOLES ET FORESTIÈRES ET EXTENSION DES SURFACES NATURELLES

La région PACA subit aujourd'hui une évolution allant de pair avec les profondes mutations économiques du territoire. Un phénomène de déprise agricole est tout d'abord observé. Les vergers et les surfaces cultivées sont délaissés, le pâturage abandonné, et la forêt n'est plus sollicitée comme source de combustible. Il s'ensuit à la fois une extension de la forêt méditerranéenne (augmentation de 11 % en 10 ans) et une augmentation de la biomasse combustible : le risque de propagation en devient plus important. La forêt n'est désormais plus perçue comme une source naturelle de bois. Ses fonctionnalités ont changé : les notions de paysage, de loisirs — fonctionnalités non marchandes — font aujourd'hui partie des discours des politiques. Par cette nouvelle demande sociale, la forêt est à présent en contact plus fréquent avec les activités humaines. Par là même, c'est le risque d'éclosion des feux qui augmente en proportion.

#### Contact

a. Cemagref, UR Agriculture et forêt méditerranéennes, 3275 Route de Cézanne, Le Tholonet, BP 31, 13612 Aix-en-Provence Cedex 1  
b. Chemin de Galance, 84120 La Bastidonne  
c. IMEP, Faculté de Saint-Jérôme, Avenue Escadrille Normandie Niémen, 13397 Marseille Cedex 13  
d. Le Tholonet, 13100 Aix-en-Provence

#### MÉTROPOLISATION DU TERRITOIRE ET EXTENSION DES SURFACES MINÉRALISÉES

Avec une croissance démographique prévue de 20 % entre 1990 et 2020, la région PACA devrait avoir 900 000 habitants supplémentaires d'ici 20 ans (DIREN et DRAF, 1999).

Cette métropolisation, alliée au phénomène d'extension de la forêt et à l'apparition de ses nouvelles fonctionnalités, favorise ainsi les deux composantes des feux de forêt : la probabilité d'éclosion d'un incendie et la probabilité pour qu'il se propage, ainsi que l'augmentation de la vulnérabilité des interfaces.

Ces espaces agricoles, forestiers et urbains s'interpénètrent et forment des territoires plus ou moins complexes, appelés communément « interfaces » (photo 1). Par exemple, la croissance urbaine peut s'effectuer de manière quasi linéaire dans le cas de lotissements en lisière de forêt. Elle peut se développer à l'extrême sous forme de « mitage », avec un habitat plus ou moins diffus dans la forêt.

#### Problématique du risque d'incendie dans les interfaces

Les zones d'interface posent des problèmes particulièrement difficiles d'entretien et de gestion, vis-à-vis de ce risque d'incendie de forêt. En effet, d'une part, elles constituent des zones où les mises à feu sont potentiellement de plus en plus importantes, du fait des différentes activités humaines sources d'allumage (barbecue, mégots...) au contact d'une végétation inflammable et combustible. La base de données Prométhée indique que 96 % des causes connues de départs

de feu sont liées aux activités humaines dans les Bouches-du-Rhône.

D'autre part, la pression d'urbanisation est telle dans la région méditerranéenne française, que les habitations à la lisière des forêts et même à l'intérieur des espaces forestiers, sont de plus en plus courantes. Ceci entraîne une augmentation de la vulnérabilité et la concentration des moyens de lutte sur ces interfaces, au détriment parfois de la protection de la forêt.

Il est nécessaire d'avoir une connaissance exhaustive de tous les types d'interfaces présents sur un territoire. Cette typologie permettra de regrouper des zones présentant des profils similaires au regard du risque d'incendie. Les types d'interface pourront alors être intégrés dans un modèle complet d'évaluation du risque d'incendie. Des actions de préventions pourront alors être proposées de manière ciblée, afin de réduire l'aléa (actions de sensibilisation et d'information pour le public des interfaces, afin de diminuer le nombre de départs de feu), ou dans l'objectif de réduire la vulnérabilité (application de la loi sur le débroussaillage, mise en place d'équipements, orientation des choix d'urbanisation...).

Cette caractérisation des types d'interfaces habitat/forêt peut se faire de manière automatique, sur de grandes surfaces, à partir de critères prenant en compte différents paramètres d'occupation du sol, de densité d'habitat, d'hétérogénéité du milieu...

La cartographie en est alors possible, sous réserve d'utiliser des données de bonne résolution spatiale.

▼ Photo 1 – Différents types d'interfaces habitat/forêt (Catherine Tailleux, Cemagref).



#### Interfaces et notions de paysage

Les interfaces résultent de la conjonction de deux dynamiques d'occupation de l'espace : l'une est naturelle, l'autre anthropique. Le paysage actuel est l'expression à un instant donné des relations entre l'homme et son environnement.

#### Traduire la notion de paysage

Le paysage est une notion qui a évolué considérablement. Elle fut tout d'abord liée à l'aspect visuel proprement dit : le paysage est « ce que l'on voit ». Mais une autre notion est apparue dès lors que l'on a cherché à formaliser, depuis l'antiquité, sous forme de cartes, cette connaissance intuitive des régions qui prévalait jusqu'alors.

Le géographe devait « transposer [sa] vision horizontale, et nécessairement fragmentaire, qu'il avait au sol (avec ses espaces masqués) en une vision verticale, extensive, cartographique et spatiale » (Bruneau *et al.*, 1985). Enfin, la véritable dimension spatiale apparut avec les photographies aériennes et satellites. Le paysage était cette fois perçu réellement dans toute sa globalité et sa variété (photo 2).

Certains considèrent le paysage suivant deux dimensions, une verticale et une horizontale. La dimension verticale consiste à voir le paysage comme une superposition de couches, chacune étant la représentation cartographique d'une variable du paysage. Les intersections de ces couches produisent toute la variété du paysage. La dimension horizontale, par contre, correspond alors à la notion de paysage introduite par Bruneau *et al.* (1985). C'est l'agencement dans certaines proportions de plusieurs affectations de sol.

Du point de vue de l'image satellite ou aérienne, un paysage est une portion homogène du plan image horizontal : cette horizontalité réalise une synthèse des couches thématiques présentant une cohérence des couleurs.

Une distinction a été proposée par Forman et Godron (1981) en écologie du paysage. Selon eux, un paysage est constitué d'une matrice, qui est l'élément dominant et englobant, dans lequel s'identifient des taches (bosquets, habitations) et des corridors (éléments linéaires). L'ensemble des taches constitue une mosaïque, et l'ensemble des corridors un réseau (Burel et Baudry, 1999).

Cette définition rejoint celles citées plus haut et nous amène à la notion de **texture**. Toujours selon Forman et Godron (1981), l'arrangement spatial observé au sein de la mosaïque et des réseaux constitue ce qu'ils appellent le patron paysager, et à partir duquel deux paysages peuvent être comparés. Le **patron paysager**<sup>1</sup> représente finalement la texture d'un paysage.

### Interprétation visuelle des photographies aériennes

Les images aériennes et spatiales constituent une base d'informations considérable pour la connaissance d'une région. Ce sont des documents auxquels les hommes sont naturellement réceptifs, les données apparaissant d'elles-mêmes sous forme d'images, et non pas sous forme de tableaux peu explicites.

▼ Photo 2 – Les éléments du paysage (Catherine Tailleux, Cemagref).



Exploiter l'ensemble des informations que constitue une image peut se faire de deux manières : visuellement et numériquement. Cependant, l'exploitation de ces données ne se fait pas encore de manière optimale : beaucoup de facteurs, *a priori* non numériques, servent à une compréhension intuitive ; ils ne sont pas pris en compte par une analyse numérique de l'image, mais par une analyse visuelle. La typologie des interfaces présentée ci-dessous (tableau 1, p. 72) est basée sur une analyse visuelle des orthophotographies.

L'intérêt de l'interprétation visuelle est de considérer naturellement des propriétés difficiles à mettre en évidence numériquement, mais qui sont essentielles à la compréhension d'une image, à savoir les propriétés texturales. Ce sont elles, en fait, qui traduisent vraiment les propriétés globales d'une image, car elles reflètent l'agencement spatial des couleurs et les relations qu'elles ont entre elles. En traitant de manière automatique de telles propriétés, il sera alors possible de les reproduire.




### Retranscrire des données intuitives en données numériques...

La texture d'image est un élément très important dans la perception et l'interprétation d'une image par le cerveau. Il s'agit d'une notion difficile à prendre en compte, car il n'existe pas d'opérateur permettant de la quantifier rigoureusement et se pose le problème de passer de la vision subjective, humaine, à la vision objective, numérique (Borne, 1990).

1. Le patron paysager, en écologie du paysage, doit être compris dans le sens de la structuration spatiale du paysage en tant que valeur explicative du fonctionnement écologique. Ainsi, Baudry et Taton (1993) ont démontré les possibilités de modélisation de la dynamique végétale en intégrant la composition du paysage et son hétérogénéité à différentes échelles.

► Tableau 1 – Douze types d'interfaces d'après interprétation visuelle.

Nom de l'interface	Descriptif	Illustration
Tissu urbain continu (centre ancien)	Milieu urbain dense sans arbres	
Zone d'habitat dense, pas boisé	Zone de construction récente sans végétation	
Zone d'habitat dense peu boisé	Zone de construction plus ancienne, la végétation s'y développe peu à peu	
Zone d'habitat dense boisé	L'habitat peut être ancien (entre 20 et 30 ans) ; les constructions se sont faites en milieu boisé et quelques arbres subsistent sur les parcelles	
Zone d'habitat dense très boisé	Les habitations sont noyées dans la végétation, les houppiers des arbres touchent les toits des maisons et se touchent entre eux	
Habitat en zone agricole sur petite parcelle	Ce type se situe en zone de campagne en bordure de ville	
Habitat en zone agricole sur grande parcelle	Les champs cultivés dominent, les maisons sont disséminées sur le territoire	
Habitat en coteaux	Les maisons se situent à flanc de colline, les parcelles sont sur des restanques plus ou moins étroites	
Habitat diffus en espace boisé	Les arbres sont dominants, les maisons plus ou moins distantes et nombreuses au cœur du massif	

Nom de l'interface	Descriptif	Illustration
Habitat épars en espace boisé	Les maisons sont davantage distantes les unes des autres et se situent au cœur du massif	
Habitat isolé en espace boisé	L'habitation est seule au cœur du massif	
Habitat mixte	Habitat mélangé à des bosquets et des champs cultivés	

La texture est liée à la notion de **voisinage** : elle est révélatrice de propriétés portant non pas sur le point (le pixel) lui-même, mais sur l'ensemble des points de son voisinage.

En écologie du paysage, la texture prise en compte dans le paysage correspond à « l'arrangement dans certaines proportions de plusieurs affectations de sol » (Bruneau *et al.*, 1985). Cette définition fait référence à trois notions : la classe, la distribution et l'arrangement spatial. L'utilisation **d'indices d'écologie du paysage** permet d'aborder simultanément ces trois notions.

L'écologie du paysage est définie comme l'étude des variations des paysages à différentes échelles. Ceci inclut les causes biophysiques et les causes de société, et leurs conséquences sur l'hétérogénéité du paysage (IALE, 1998).

La quantification de l'hétérogénéité environnementale devient alors un objectif d'étude et les indices paysagers sont les outils nécessaires à cette quantification. Ces derniers, grâce aux outils géomatiques, permettent de renseigner sur l'organisation du paysage et non plus seulement sur sa composition (tel que l'occupation du sol).

La quantification des patrons paysagers est difficile, comme le montre la prolifération des indices (partiellement redondants) qui se développent en écologie du paysage (Mc Garigal *et al.*, 1995).

De nombreux indices décrivent l'hétérogénéité spatiale. Les plus utilisés sont les indices de

composition (non spatiale) et les indices de configuration spatiale (structure) selon Gustafson (1998). Les indices de composition utilisés et discutés dans la littérature scientifique sont les indices de diversité. Ils sont issus pour beaucoup de la théorie de l'information de Shannon-Weaver (Shannon et Weaver, 1949) et sont fréquemment utilisés car ils présentent un intérêt en écologie et en analyse spatiale (Herzog *et al.*, 1999). À la différence des indices de composition qui définissent le contenu d'un voisinage sans en indiquer l'organisation spatiale, les indices de configuration renseignent sur la fréquence des connexions entre les pixels d'une même classe de paysage (Robbez-Masson *et al.*, 1999). Ils se prêtent davantage à une quantification de l'organisation du paysage.

## Méthode

L'étude se propose de développer une méthode d'analyse spatiale pour cartographier et caractériser les zones d'interface entre les espaces agricoles, les espaces forestiers et les espaces urbains.

Le projet consiste, à partir d'images de télédétection, à réaliser une cartographie des zones d'interface, puis à réaliser leur analyse spatiale pour permettre d'élaborer leur typologie.

Les résultats attendus sont :

– la mise au point d'une méthode de représentation cartographique des zones d'interface ;



– une typologie des types d'interfaces en fonction de questions d'aménagement ;

– une automatisation des procédures de représentation voire des procédures de classement.

Ce travail donnera une idée de la faisabilité de la méthode et des moyens nécessaires à la réalisation de ce type d'étude, notamment sur des zones plus grandes.

### Les ortho-photographies

Ce sont des photographies aériennes qui présentent l'avantage d'être très précises : le plus petit élément détecté au sol a une taille de 50 cm sur 50 cm. Il faut donc 4 pixels pour obtenir une surface d'un mètre carré.

Toutes les traces des activités humaines sont visibles : toits des maisons, chemins, pistes...

On peut donc penser qu'un traitement informatique approprié de ces images permettra de cartographier ces activités humaines, en particulier l'habitat en forêt.

Par ailleurs, ces ortho-photographies sont d'ores et déjà disponibles, en région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, pour tous les organismes publics et les collectivités locales. Cette mise à disposition est gratuite, dans le cadre du contrat de plan État-Région<sup>2</sup> (encadré 1).

Ce type de données, de par sa précision, son étendue spatiale et sa gratuité, constitue donc une source intéressante pour notre objectif de cartographie.

L'exploitation de la BD ORTHO® doit nous permettre, dans un premier temps, de réaliser une carte d'occupation du sol à très haute résolution spatiale.

Compte tenu de la masse de cette couche de données (près de 150 cd-rom, plus de 100 gigaoctets pour tout le département), le travail devait à l'origine être effectué sur une version

compressée au format ECW, plus de dix fois moins volumineuse. Mais, fortement dégradée, celle-ci s'est avérée inexploitable dans le cadre d'une classification où les qualités spectrales doivent être conservées intactes. Le traitement a donc été effectué sur le format TIF, après demande de livraison de la couche auprès de l'IGN.

### La zone d'étude

Nous avons pu nous procurer des échantillons sur une vaste zone d'expérimentation comprise entre Aix-en-Provence et Marseille (figure 1). Pour pallier la lourdeur de la couche, celle-ci a été dégradée à 1 m de résolution, la perte en information s'avérant minime et le gain de place conséquent (le poids total a été divisé par quatre).

Cette zone correspond à une forte pression d'urbanisation puisqu'elle se situe dans un rayon de 30 minutes de part et d'autre des deux principaux pôles d'emploi que sont Marseille et Aix-en-Provence. Par ailleurs, de nombreux types d'interfaces sont *a priori* présents sur cet espace, comme le laisse présager la carte d'occupation du sol du CRIGE (encadré 1).

## Étapes de traitement et résultats

### Cartographie de l'occupation du sol à grande échelle

Le but est de disposer d'une cartographie de l'occupation du sol à très haute résolution, base de donnée nécessaire à toute analyse spatiale. Pour ce faire, les informations spectrales quantitatives (la réflectance dans les longueurs d'ondes rouge, vert et bleu) contenues sur la BD ORTHO® doivent être simplifiées par la voie d'une classification.

Le travail conduit l'année précédente avait exploré la voie de la classification non supervisée, basée sur une classification hiérarchique ascendante de l'analyse en composantes principales des canaux

#### Encadré 1

Le CRIGE est le comité régional de l'information géographique. Cette association a pour objectif de promouvoir le partage des données géoréférencées dans la région PACA. Grâce à des financements État-Région, le CRIGE a réalisé une carte d'occupation des sols sur la base de la nomenclature de Corine Land Cover, adaptée à la région méditerranéenne. Cette base de données résulte du traitement d'images satellitaires de Landsat et d'interprétation de photographies aériennes. Son échelle d'utilisation se situe entre le 1/70 000° et le 1/200 000°. Outre les tissus urbains (continus et discontinus), la nomenclature distingue les territoires forestiers et les territoires agricoles avec présence d'habitats dispersés. Ces deux postes sont particulièrement difficiles à apprécier dans toute leur complexité sur cette base de données.

2. Le comité régional de l'information géographique a été à l'origine de la signature d'un protocole d'accord avec l'IGN, afin de développer l'accès aux données numérisées en région Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Site internet : [www.crige-paca.org](http://www.crige-paca.org)

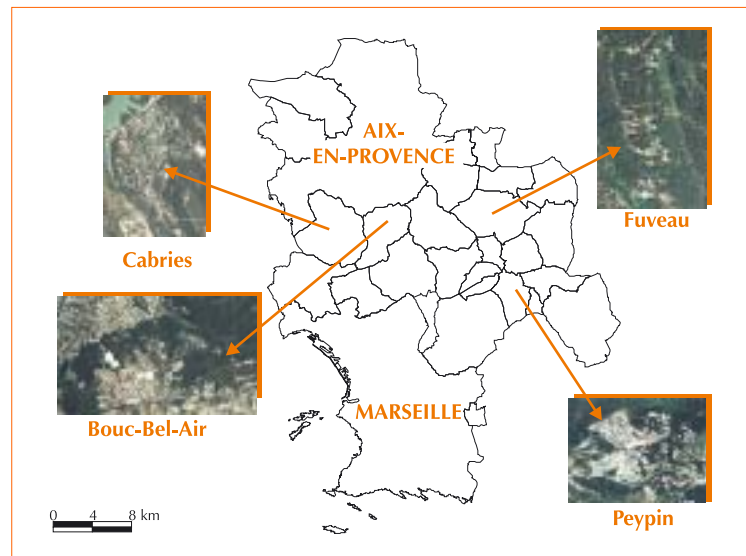
rouge, vert et bleu de l'ortho-photographie. Cette exploration avait mis en évidence des problèmes de confusions entre certains types d'objets, notamment minéraux et urbains. Dans un souci d'amélioration des résultats, nous nous sommes cette fois-ci penchés sur une méthode de classification supervisée, où l'on apprend à la machine à reconnaître les grandes catégories d'occupation du sol qui nous intéressent.

Si, au prix d'un temps colossal d'affinage (près d'une vingtaine d'heures), les résultats se révèlent être supérieurs à ceux d'une classification non supervisée (figure 2), force est de constater que des confusions restent malgré tout inévitables. Le phénomène est imputable à deux facteurs :

• **l'hétérogénéité spectrale de la BD ORTHO®.**

Les prises de vues n'ont visiblement pas été calibrées, les numérisations non plus : des phénomènes de sur- et sous-exposition modifient localement la luminosité et perturbent la radiométrie des objets. De plus, les prises de vues aériennes ne pouvant être effectuées simultanément sur la totalité du département, direction et taille des ombres projetées varient considérablement selon l'heure d'acquisition de la photographie. Les textures de l'image s'en trouvent profondément modifiées, et tout travail les exploitant devient de fait inefficace car non reproductible à grande échelle ;

• **la réponse spectrale des objets.** La relation type d'occupation du sol/état des surfaces est de première importance. L'information contenue sur la BD ORTHO® est celle d'une réponse spectrale des différents matériaux affleurants. Il faut donc prendre conscience que :



– un même matériau peut être présent dans des types d'occupation du sol différents (l'argile rouge d'un toit en tuile est la même que celle d'un champ labouré) ;

– des matériaux peuvent avoir une réponse spectrale similaire (une route bitumée et un affleurement calcaire) ;

– un même type d'occupation du sol peut être composé de matériaux différents (un champ labouré et une prairie irriguée) ;

– un même matériau peut aussi avoir deux réponses différentes selon la lumière incidente, l'état de surface...

Les limitations induites par cet état de fait sont considérables. Il nous a ainsi été impossible

▲ Figure 1 – Situation géographique de la zone d'étude (exemple d'interfaces urbanisation/forêt rencontrées en zone périurbaine).



◀ Figure 2 – Les défauts de la couche de données de référence. À gauche un échantillon BD ORTHO®. À droite, la même vue après classification supervisée (en noir la classe des ombres, en vert foncé la pinède, en vert clair la garrigue).

3. En écologie du paysage, la taille de la fenêtre est définie en fonction de la réponse de la variable écologique étudiée. Par exemple, Honnay *et al.* (2003) ont trouvé une relation linéaire entre le nombre total d'espèces végétales et l'indice de diversité de Shannon calculé sur une fenêtre de 4 km x 4 km. Dans notre cas, nous ne cherchons pas à relier les indices écologiques à un fonctionnement d'écosystème. Nous voulons les utiliser pour décrire une organisation spatiale. Ainsi, le voisinage spatial d'un point est envisagé selon deux critères combinés : l'éloignement et la direction. Dans la plupart des applications actuelles, on se contente de recueillir l'information contextuelle sur des voisinages carrés, de taille habituellement limitée à 33 pixels (ou 55 pixels). C'est la forme choisie pour cette étude.

d'extraire de manière automatique une cartographie exhaustive des constructions sans prendre en compte des surfaces considérables de sol nu. Dans le cadre de notre projet, où une analyse spatiale fine de l'organisation du bâti doit être effectuée, nous ne pouvons nous satisfaire de telles approximations. Il a donc été décidé de n'utiliser la classification de la BD ORTHO® qu'à usage des classes végétales et minérales, et d'y incruster par la suite une numérisation du bâti réalisée par ce qui reste à ce jour le seul et unique outil fiable : l'être humain. La saisie des objets de cette couche a été réalisée point par point sous le logiciel Arcview®. La création de buffers de 8 m de rayon (l'emprise moyenne des constructions observée sur les ortho-photographies) autour de ces points, puis leur rasterisation sous le logiciel Arcinfo® ont permis d'obtenir une cartographie satisfaisante du bâti qui, si elle se trouve biaisée au niveau du tracé des contours des constructions (un simple cercle), n'en offre pas moins une image cohérente de la répartition spatiale (figure 3).

Au final, la cartographie de l'occupation du sol présente les classes suivantes :

- bâti et piscine ;
- bitume/affleurements rocheux ;
- pins ;
- feuillus ;
- garrigue ;
- végétation épars/friche ;
- sol nu ;
- ombres.

### Amélioration de la classification supervisée

On distingue dans l'image classifiée, plusieurs classes pour un même type de végétation ; il est nécessaire de simplifier encore cette classification de manière à prendre en compte un type homogène de végétation donnée (figure 4).

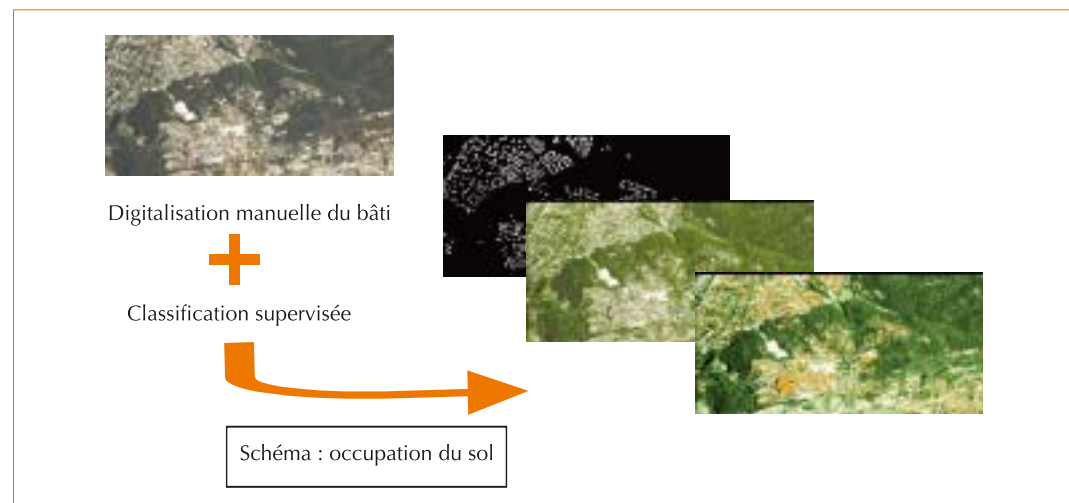
Pour cela, le module CLAPAS est utilisé dans le logiciel Arcview® (Robbez-Masson, 1994).

Chaque pixel de l'image analysée peut être décrit par un histogramme de composition (seul descripteur de texture actuellement disponible dans le module) donnant les fréquences des réflectances des points voisins, compris dans une fenêtre dont on définit la taille<sup>3</sup>. On assigne ensuite à chaque point une note témoignant de sa ressemblance respective à chacun des paysages pris comme référence.

Grâce à ce module, les végétations haute et basse, par exemple, sont très facilement dissociables par la distribution des houppiers et de leurs ombres.

De même, la garrigue peut être sous-divisée selon que l'on tienne compte ou non de la présence de roches à l'affleurement. Pour l'instant, dans un souci de simplicité, une telle distinction était inutile (figure 5).

En revanche, ultérieurement, il sera intéressant d'être aussi précis que possible dans l'identification des différents types de végétation en présence.



► Figure 3 – Résumé des premières étapes de traitement.

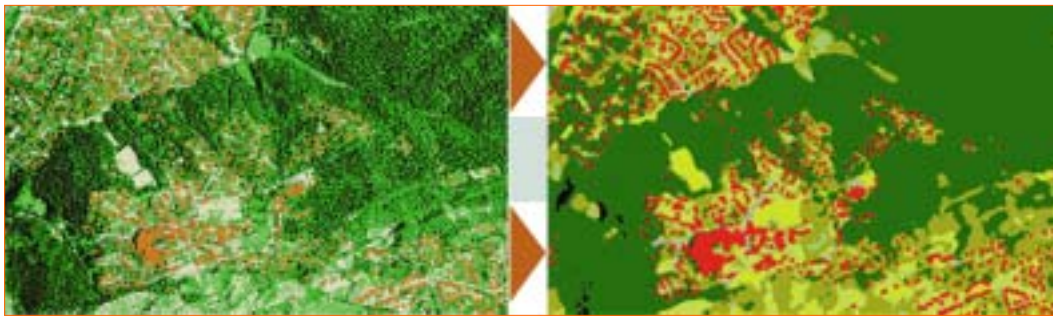
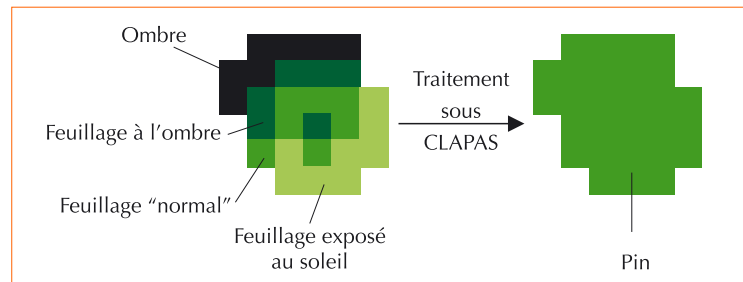


### Choix de trois indices d'écologie du paysage

L'analyse spatiale de la classification précédente a été réalisée à l'aide de techniques issues de l'écologie du paysage.

Les chercheurs de la discipline ont en effet développé de nombreux outils susceptibles de quantifier et de représenter graphiquement les différents aspects de l'organisation spatiale d'un lieu ou d'une classe d'objet ciblée : les indices écologiques.

▼ Figure 4 – Exemple de simplification conduisant à identifier sous CLAPAS un type homogène.



◀ Figure 5 – Classification finale.

Il existe une multitude d'indices écologiques, fruits des nombreuses formules de calcul existantes pour évaluer un même phénomène structurant (agrégation, hétérogénéité, connectivité, etc.).

Parmi les nombreux indices cités dans la littérature et après plusieurs essais de calculs infructueux pour certains indices, trois indices ont été retenus dans cette approche, donnant satisfaction tant sur l'aspect descriptif de la structure spatiale que sur le plan de la cohérence du rendu graphique :

- la densité, calculée par le logiciel ENTROPIE pour chaque classe d'objet (Robbez-Masson, 1994) ;
- la diversité de Shannon (SHDI), calculée par le logiciel FRAGSTATS (Mc Garigal et Marks, 1995) ;
- l'agrégation spatiale (AI), également mesurée par le logiciel FRAGSTATS (Mc Garigal et Marks, 1995).

#### L'INDICE DE DENSITÉ

Il s'agit d'un calcul simple mettant en jeu la proportion de pixels d'une classe (figure 6). C'est grâce à cet indice que nous pourrons en définitive délimiter les zones d'interface, en ne croisant que les densités des classes d'intérêt : bâti et forêt (pins + feuillus)<sup>4</sup>.

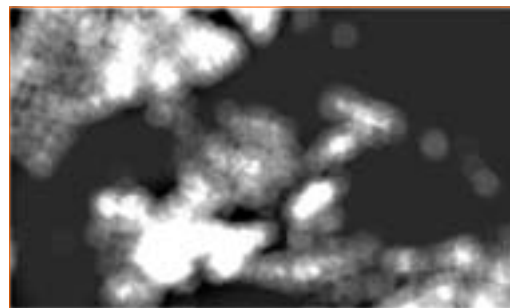
#### L'INDICE DE DIVERSITÉ DE SHANNON

Il rapporte la diversité du paysage. Une mesure de diversité faible découle d'un voisinage dominé par une seule classe. Une mesure de diversité forte découle d'un voisinage composé de nombreuses classes en proportions approximativement égales (figure 7, p. 78).

#### L'INDICE D'AGRÉGATION

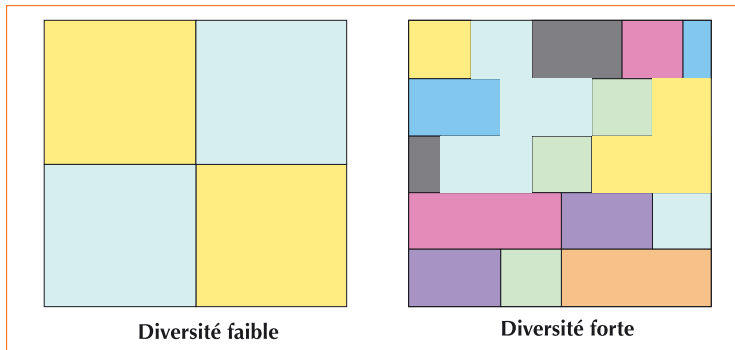
Sous FRAGSTATS, il rapporte l'agrégation du paysage en pourcentage. Une mesure d'agrégation est égale à 100 lorsqu'une seule classe est totalement agrégée dans la fenêtre de voisinage. Une mesure est proche de 0 lorsque chaque tache est étroite dans une direction et longue dans une autre (figure 8, p. 78).

4. Seules 2 classes d'occupation du sol ont été prises en compte : l'urbain et le forestier (qui regroupe les feuillus et les résineux). La garrigue n'a pas été prise en compte dans cette première approche afin de faciliter l'interprétation du résultat final. La prochaine étape consistera dans l'intégration de plusieurs autres classes pour mieux décrire la complexité des interfaces.



▲ Figure 6 – Gradient de densité de bâti.

▼ Figure 7 – Deux exemples de représentations de diversité.

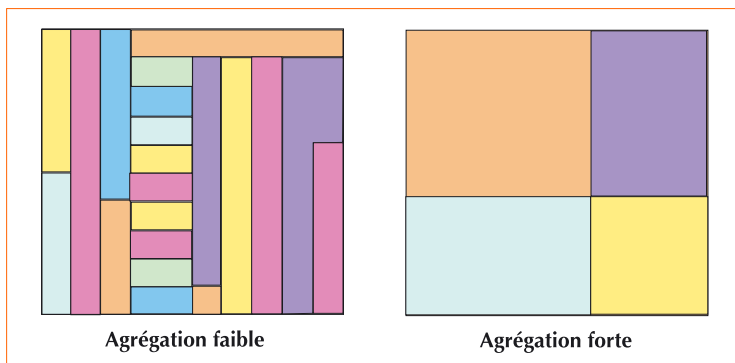


#### CALCUL ET CROISEMENT DES INDICES

Les trois indices sont calculés pour chacune des deux classes : bâti et forêt. Pour chaque classe, les trois indices sont ensuite combinés en une seule couche d'information. Les croisements d'indices vont être effectués via des méthodes propres à la télédétection et au traitement d'image, en les utilisant comme s'il s'agissait de canaux radiométriques. En effet, les indices écologiques sont de nature quantitative discrète, tout comme les données spectrales enregistrées par un capteur de satellite. On obtient ainsi une carte des types de bâti (figure 9) et une carte des types de végétation.

#### Cartographie des interfaces

Étape finale du processus, le croisement des deux cartes précédemment obtenues va permettre de regrouper des zones aux caractéristiques spatiales similaires. En remontant la chaîne de traitement, il sera ensuite possible de caractériser ces zones par leur appartenance à une plage de valeur des différents indices. Les différentes couleurs traduisent ainsi différents types d'interfaces, dont par exemple les quatre types illustrés par la figure 10.



▲ Figure 8 – Deux exemples de représentations d'agrégation.

#### Conclusion et perspectives

À partir d'une simple photographie aérienne, il a été possible d'obtenir une image représentative des grands thèmes paysagers et des interfaces urbain/forêt. La chaîne de traitement a pu être correctement élaborée sur la base d'une combinaison de plusieurs techniques liées à l'utilisation de logiciels de télédétection et de SIG.

La carte finale proposée est une ébauche qui mérite d'être améliorée en modifiant un certain nombre de paramètres contraignants, notamment le relief (pente et exposition) qui jouent un rôle important sur les limites d'implantation de l'habitat.

Dans un premier temps, il est nécessaire d'éliminer toute zone de confusion afin de mieux distinguer les habitations de tout autre objet, naturel ou artificiel, de manière à éviter la saisie manuelle de l'habitat pour rendre complètement automatisée la cartographie des interfaces.

Pour cela, des sources de données de meilleures qualité spectrale et de très haute résolution spatiale doivent être envisagées lors de l'extraction des données.

D'autres types de photographies aériennes peuvent être utilisées, telles que les photographies de l'inventaire forestier national. Il se pose avec elles certains des problèmes inhérents à la photographie aérienne : les 500 clichés (environ) nécessaires à la couverture d'un département ne peuvent être photographiés en même temps. De fait, l'exposition au soleil variant sensiblement en fonction de l'heure d'enregistrement, la réponse spectrale ne peut qu'être imparfaitement homogène sur la totalité de l'assemblage. Les mêmes problèmes de non-homogénéité radiométrique se posent qu'avec le BD ORTHO®. Cependant, ces photographies présentent l'intérêt d'être en infrarouge, et pourront sûrement apporter des possibilités supplémentaires en terme de discrimination des classes de végétation.

Par ailleurs, il existe aujourd'hui de nombreuses sources de données multispectrales à très haute résolution spatiale sur lesquelles pourraient être appliquées les procédures de traitement mises au point lors de cette étude :

- le satellite Ikonos : panchromatique à 1 m, multispectral à 4 m, scènes de 11 x 11 km. Mais il existe actuellement très peu d'enregistrement disponibles sur la zone d'étude (une seule

clairement identifiée sur le site du revendeur : <http://www.si-eu.com/> ;

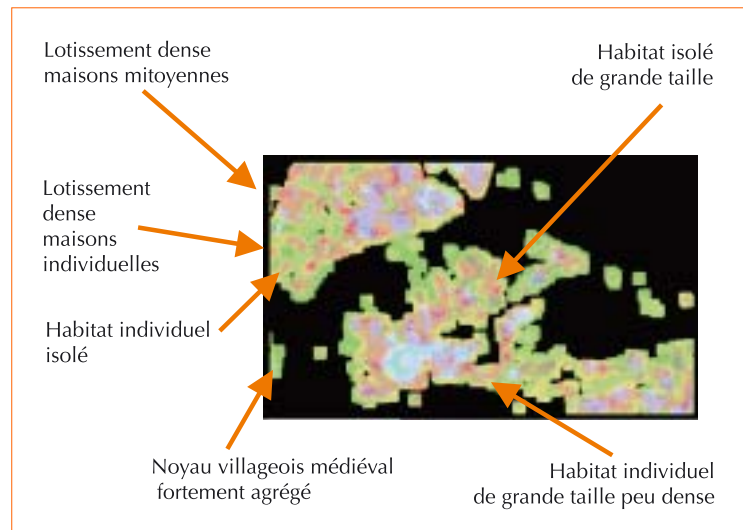
– le satellite Quickbird : panchromatique à 0,70 m, multispectral à 2,80 m, scène de 16,5 x 16,5 km. C'est le satellite qui offre la plus forte résolution spatiale. Là encore, les enregistrements identifiés couvrent essentiellement les grandes villes. La zone d'étude n'est que très partiellement couverte à l'ouest, et de surcroît à une période peu propice à la télédétection de la végétation (fin mars).

– le satellite SPOT 5 : panchromatique à 2,5 m ou 5 m, multispectral à 10 m. Si sa résolution spatiale n'a rien d'extraordinaire en soi, il s'agit du satellite qui offre la plus grande couverture spatiale d'un seul tenant (60 km x 60 km). De plus, la qualité des enregistrements multispectraux SPOT a depuis longtemps fait ses preuves. Il s'agirait probablement de la source de données la plus intéressante, eu égard au rapport emprise spatiale/résolution spatiale/résolution spectrale.

La résolution spatiale de ces données satellitaires est inférieure à celle de la BD ORTHO® mais reste intéressante pour discriminer les différents types de bâti et identifier plusieurs types de textures dans la végétation forestière. Par ailleurs, l'étendue géographique couverte par ces satellites permet d'envisager la cartographie automatique des interfaces sur des zones plus larges qu'avec des ortho-photographies.

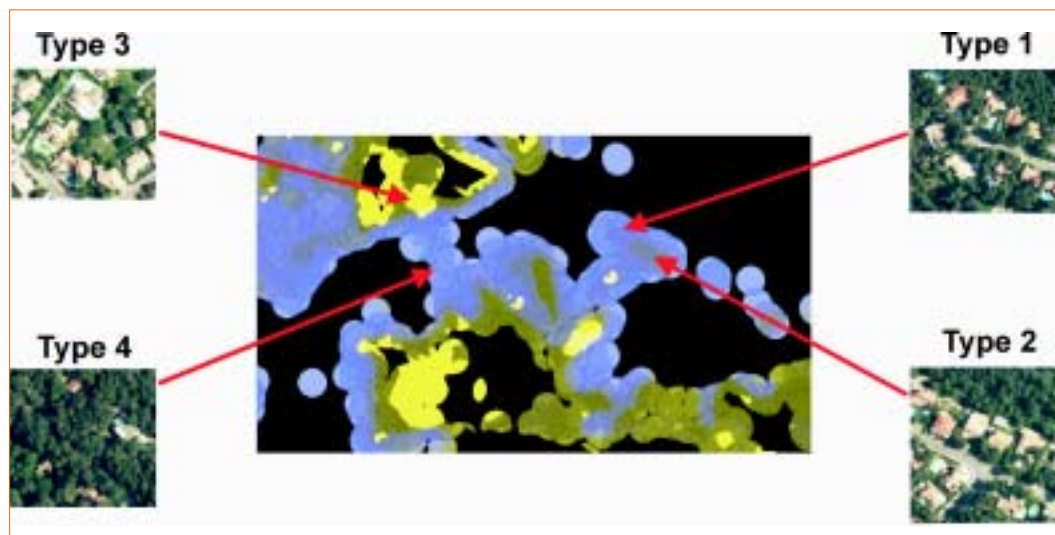
Dans un second temps, il peut être envisagé d'autres techniques d'analyse spatiale, telles que

▼ Figure 9 – Cartographie des types de bâti.



l'emploi de fractales (Rex et Malanson, 1990 ; Milne, 1991 ; Baudry, 1993). Par ailleurs, la recherche d'indices plus pertinents pourrait être approfondie. Les choix se sont en effet révélés être d'autant plus difficiles à opérer que les nuances de réponse entre deux indices mesurant un même facteur structurant sont souvent minces.

Enfin, l'utilisation d'autres critères de différenciation tels que la pente, l'exposition, ou l'encaissement doit venir compléter la méthode. Ces paramètres sont essentiels dans une approche « exposition au risque » puisqu'ils constituent souvent des facteurs aggravants. □



◀ Figure 10 – Cartographie des types d'interfaces.

---

## Remerciements

---

Les auteurs remercient le Conseil régional Provence-Alpes-Côte-d'Azur ainsi que l'Action Scientifique Structurante Risques Naturels pour le financement accordé à l'étude.

---

## Résumé

Le Cemagref d'Aix-en-Provence développe une méthode d'analyse spatiale en vue de cartographier et de caractériser les interfaces habitat/forêt, dans l'objectif d'établir une typologie d'interfaces similaires du point de vue du risque d'incendie de forêt.

La méthode a été appliquée dans le sud de la France, entre Aix-en-Provence et Marseille.

Tout d'abord, une classification supervisée est appliquée sur des ortho-photos, ce qui fournit une cartographie très précise de l'occupation du sol. Ensuite, cette cartographie est analysée en mode contextuel de manière à caractériser différents types de végétation. Puis, des indicateurs issus de l'écologie du paysage sont utilisés pour décrire l'organisation spatiale de l'habitat en forêt (fragmentation, diversité, densité...).

À long terme, une meilleure caractérisation et une cartographie automatique de ces interfaces pourra être obtenue en intégrant d'autres facteurs de risque tels que la pente, l'exposition et le vent. Ces types d'interfaces s'inscriront alors dans un modèle complet d'évaluation du risque, dans un objectif de prévention.

## Abstract

In the context of forest fire prevention, the Cemagref in Aix-en-Provence is developing, with remote sensing tools, a method of spatial analysis in cartography and characterization of the interfaces between wildland and urban areas. The aim of this study is to group zones having similar profiles with regard to fire risk exposure.

The method described bellow was applied in south of France, in a very sensitive zone between Marseille and Aix-en-Provence.

In a first part, we improved a supervised classification on orthophotos. We obtained very precise land use map. Then we analysed this map in a contextual mode in order to be able to describe different kind of vegetation (height, sparse...). Then we improved spatial analysis tools in order to describe the spatial organisation of the land use and specially houses organisation inside or near the forest. We used some indicators belonging to landscape ecology (fragmentation, diversity, density...).

Finally, better charaterization and automatic cartography of these interfaces should, in the long run, enable them to be charaterized with regard to fire risk by integrating them into a complete fire risk evaluation model, in order to develop preventive actions.



## Bibliographie

- BAUDRY, J., 1993, Landscape dynamics and farming systems: problems of relating patterns and predicting ecological changes, in R.G.H. Bunce, Ryckzkowski and M.-G. Paoletti, *Landscape ecology and agroecosystems*, Lewis, London, p. 21-40.
- BAUDRY, J., TATONI, T., 1993, Changes in landscape patterns and vegetation dynamics in Provence, *Landscape and Urban Planning*, 24, p. 153-159.
- BORNE, F., 1990, *Méthodes numériques de reconnaissance de paysages, application à la région du lac Alaotra au Madagascar*, université Paris VII, 208 p.
- BRUNEAU, M., KILIAN, J., LE MEN, H., MONGKOLSAWAT, C., 1985, *Identification and dynamics of the agricultural environments in the northeast Thailand (Udon Thani - Sakon Nakhon)*, série Cartosat, n° 56.
- BUREL, G., CATROS, J.-Y., HENOCK, H., 1992, Caractérisation et classification de textures sur images naturelles, *Traitements du signal*, vol. 9, n° 1, p. 33-43.
- BUREL, F., BAUDRY, J., 1999, *Écologie du paysage : concepts, méthodes et applications*, Éditions TEC&DOC.
- DIREN et DRAF, 1999, *Schéma des espaces naturels et ruraux PACA, Cartes d'inventaire*, documents de travail.
- FORMAN, R.-T.-T., GODRON, M., 1981, Patches and structural components for a landscape ecology, *Bioscience*, 31, p. 733-740.
- GUSTAFSON, E.-J., 1998, Quantifying Landscape Spatial Pattern : What is the State of the Art?, *Ecosystems* 1, p. 143-156.
- HARRALICK, R.-M., SHANMUGAM, K., DINSTEN, I., 1973, Texture features for image classification, *IEEE Trans System Man Cybernetic*, vol. SMC-3, n° 6, p. 610-621.
- HERZOG, F., LAUSCH, G., 1999, Prospects and limitation of the landscape metrics for landscape monitoring, in Maudsley, M., Marshall, J. (eds), *Heterogeneity in Landscape Ecology: Pattern and Scale*, Aberdeen, IALE(UK), p. 41-50.
- HONNAY, O., PIESENS, K., VAN LANDUYT, W., HERMY, M., GULINCK, H., 2003, Satellite based land use and landscape complexity indices as predictors for regional plant species diversity, *Landscape and Urban Planning*, 63, p. 241-250.
- IALE, Executive Committee, 1998, IALE mission statement, *Bulletin, International Association for Landscape Ecology*, 16(1) : 1.
- MC GARIGAL, K., MARKS, B.-J., 1995, FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure, Portland (OR): USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station : General Technic Report PNW-GTR-351.
- MILNE, B.-T., 1991, Lessons from applying fractal models to landscape patterns, in M.-G. Turner and G.-R.-H., *Quantitative methods in landscape ecology*, Springer-Verlag, New York, p. 199-238.
- REX, K.-D., MALANSON, G.-P., 1990, The fractal shape of riparian forest patches, *Landscape ecology*, 4, p. 249-258.
- ROBBEZ-MASSON, J.-M., 1994, *Reconnaissance et délimitation de motifs d'organisation spatiale. Application à la cartographie des pédopaysages*, ENSAM, 161 p. + ann.
- ROBBEZ-MASSON, J.-M., FOLTETE, J.-CH., CABELLO, L., FLITTI, M., 1999, Prise en compte du contexte spatial dans l'instrumentation de la notion de paysage. Application à une segmentation géographique assistée, *Revue internationale de Géomatique*, volume 9.2, p. 173-195.
- SHANNON, C.-E., WEAVER, W., 1949, *Théorie mathématique de la communication*, CEL Paris, 188 p.