

**SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET DYNAMIQUE DES MILIEUX  
MONTAGNARDS MEDITERRANEENS. APPLICATION AUX GARROTXES ( PYRENEES  
ORIENTALES, FRANCE )**

Martin PAEGELOW  
 GEODE - URA 366 CNRS  
 Maison de la Recherche - Université Toulouse - Le Mirail  
 5, allées Antonio Machado F-31058 Toulouse cedex  
 Tél.: (33) 61.50.36.29 Fax: (33) 61.50.42.75 E-mail: paegelow@cict.fr

**Résumé**

La dynamique des milieux montagnards méditerranéens en France depuis le milieu du XIXème siècle est régie par l'exode rural provoquant la dislocation de l'économie de subsistance et l'abandon des terres marginales. Ces changements modifient le paysage dont l'état est documenté par un certain nombre de sources d'information à caractère spatial comme des photographies aériennes et des plans cadastraux. L'étude présentée qui s'inscrit dans une coopération avec l'Université de Grenade travaillant sur la même problématique dans la Sierra Nevada retrace la dynamique paysagère d'une petite région dans les Pyrénées Orientales et la met en relation avec des descripteurs pertinents du milieu. La constitution de la base de données et son analyse par des techniques classiques dans le domaine des systèmes d'information géographique (SIG) permet de comprendre la dynamique passée afin de mieux pressentir les changements futurs. La simulation de l'état paysager futur se base sur l'extrapolation du poids surfacique des différentes catégories paysagères, leur comportement spatio-temporel étudié par morphologie mathématique et des corrélations entre occupation du sol et descripteurs du milieu traduites en contraintes spatiales sous forme de masques. Les résultats seront illustrés en 3d par imagerie de synthèse et transférés sur support vidéo.

**1. Objectifs**

Les milieux montagnards méditerranéens connaissent depuis le XIXème siècle, en France, une évolution rapide caractérisée par l'exode rural et la déprise agricole. L'effondrement de l'ancien système de subsistance fut suivi, selon le contexte local, soit d'un repli de toute activité, soit d'une restructuration et reconversion des sociétés en place. La compréhension de l'évolution historique permet de mieux pressentir les changements à venir et à optimiser l'usage des territoires. Cette étude à moyenne échelle ( 1:25.000 ) s'appuie sur des descripteurs paysagers, notamment l'occupation du sol - souvent la seule information géoréférencée disponible. L'objectif est triple:

- \* retracer l'évolution paysagère depuis le début du XIXème siècle; période correspondant à l'apogée du système traditionnel de subsistance
- \* tenter d'expliquer les différences géographiques de la dynamique du milieu passée par une mise en relation avec des descripteurs pertinents de l'espace
- \* à la lumière des résultats dégagés, constituer une base de connaissances concernant la dynamique spatio-temporelle actuelle et passée et modéliser l'état paysager futur.

L'étude s'inscrit dans le cadre d'une coopération étroite avec el Instituto de Desarrollo Regional ( Universidad de Granada ) qui étudie la même problématique dans la Sierra Nevada<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>CAMACHO-OLMEDO, MaríaTeresa & PAEGELOW, Martin ( 1994 ): *Dynamique des milieux montagnards d'Europe du sud - approche par système d'information géographique. Application aux Garrotxes ( Pyrénées Orientales, France ) et à la vallée du Poqueira ( Sierra Nevada, Espagne )*. in: Actes de conférence de l'Union Géographique Internationale " Environnement et qualité de vie en Europe centrale". Prague 22-26/08/94

## 2. Présentation de la zone d'étude

Les Garrotxes<sup>2</sup> ( 12992 ha ) se situent à la limite ouest du Haut–Conflent, à proximité de la Cerdagne et du Capcir. La zone d'étude s'étire de la vallée de la Têt au confluent avec la rivière de Cabrils ( 550 m ) jusqu'au pic du Madrès ( 2469 m ) en suivant la vallée du Cabrils ( fig. 1 ).

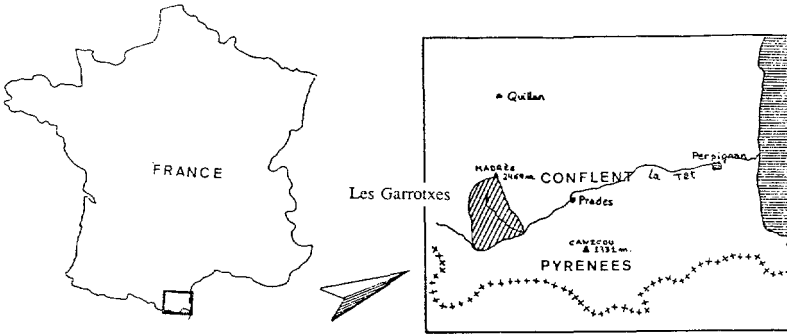


Fig. n° 1: Localisation de la zone d'étude

La rive droite de la rivière de Cabrils présente un relief de cuvettes granitiques adouci tandis que la rive gauche est taillée dans les schistes où affleurent essentiellement des terrains sédimentaires paléozoïques donnant naissance à une dénivellation et des pentes importantes sur versants réguliers ( C. MOLES, 1994<sup>3</sup> ). Climatiquement les Garrotxes présentent un climat rude, montagnard malgré les influences méditerranéennes. Le couvert végétal peut être classé en 3 grandes formations: pelouses–landes, forêts et cultures. Les landes ( formations basses à *Calluna vulgaris*, *Juniperus communis* ou mi–hautes à *Genista purgans* ) s'étendent essentiellement sur la rive gauche de la rivière de Cabrils. La principale essence sylvicole est le pin à crochets ( *Pinus unicata* ) reléguant le pin sylvestre ( *Pinus sylvestris* ) au second rang. Selon l'exposition et l'altitude ces pineraies sont plus ou moins clairsemées et présentent des cortèges floristiques différentes. A noter quelques forêts de chêne pubescent ( *Quercus pubescens* ) et de rares chênes verts ( *Quercus ilex* ) aux expositions les plus chaudes de basse altitude. En raison de la rareté des terrains plats l'agriculture traditionnelle signifiait la mise en culture de tous les versants possibles. Leur aménagement en terrasses ( feixes en catalan ) fut le support quasi exclusif de la production agricole qui était une production céréalière de subsistance. Les principales cultures, eu égard aux conditions climatiques rudes, furent des céréales pauvres terminant leur cycle végétatif avant la sécheresse estivale: seigle, orge, avoine. A cela s'ajoutèrent les cultures fourragères. L'élevage, très présent, était du type de production bovin–viande et ovin–viande. La transhumance vers les vastes estives ( > 1500 m ) était la règle. La crise socio–économique du milieu agricole montagnard débute dans la région dans la première moitié du XIXème siècle. L'apogée du système traditionnel et de la pression démographique correspond aux années 1820–40. La déprise démographique ( 1806: 1232 habitants, 1901: 977, 1936: 407 et 1990: 92 habitants ) par l'exode rural conduit à une réduction des surfaces cultivées. Cette tendance s'intensifie au début du siècle et ne connaît qu'un léger revers pendant l'immédiat après–guerre ( 1945–48 ). La chute démographique vertigineuse ne fut freinée que depuis les années 1970. Les conséquences de la déprise humaine et agricole sont l'enfrichement et la

<sup>2</sup> en catalan Garrotxes signifie: " une terre rude, pauvre et rocailleuse, escarpée et d'accès difficile" ( J. BECAT, 1974 )

<sup>3</sup> MOLES, Cécile ( 1994 ): Système d'information géographique appliqué à l'étude de la dynamique paysagère d'un espace montagnard méditerranéen à l'abandon: le Haut–Conflent ( Pyrénées Orientales ). Mémoire de DEA, Université Toulouse – Le Mirail

recolonisation forestière. Les vitesses d'évolution paysagère constatées sont très inégales selon l'exposition, l'altitude, le substrat, le microclimat, la pression pastorale, ... L'isolement des Garrotxes par rapport aux influences touristiques en fait une région aujourd'hui particulièrement à l'écart de l'évolution économique mais également un témoin de la dynamique paysagère proche des conditions naturelles.

### 3. Matériel et méthode

#### 3.1. Constitution de la base de données géoréférencées

La carte topographique au 1:25.000 sert de référence cartographique pour la base de données. Ont été extraits les courbes de niveau (équidistance de 50 m), le réseau hydrographique et routier et les limites administratives. Sur la base de la carte altitudinale digitalisée fut calculé le modèle numérique de terrain (MNT) ainsi que trois cartes dérivées: exposition, pente et proximité aux routes.

L'occupation du sol dans le temps fut déduite par photo-interprétation des missions aériennes IGN des années 1942, 1962 et 1989<sup>3</sup> et complétée sur 20 % de la surface des Garrotxes (commune de Sansa) par le cadastre napoléonien de 1824<sup>4</sup>. Eu égard à la diversité des documents et de leurs échelles ainsi que pour simplifier une analyse diachronique une généralisation aboutit à trois grandes classes de l'état paysager: pelouses-landes, surfaces boisées et cultures.

Diverses informations ont complété la base de données: les formations lithologiques (carte géologique au 1:80.000), un inventaire cartographique des brûlages dirigés et des incendies de forêt depuis les années 1970 (fichier Prométhée, société d'élevage de Prades et ONF) et le recensement de la population au niveau communal. Le dépeuplement et la déprise agricole sont avancés au point où l'exploitation du recensement général de l'agriculture (RGA) est interdite par la loi informatique et liberté.

#### 3.2. Méthodologie et prétraitements

Les traitements s'appuient en première ligne sur les méthodes propres aux SIG: analyse horizontale et verticale des données par opérateurs arithmétiques, d'évaluation et booléens. Le traitement statistique et la morphologie mathématique/traitement d'image ont été utilisés notamment pour cerner les facteurs explicatifs, à un moment donné, d'une forme d'occupation du sol et afin de modéliser un état paysager futur.

Toutes les données furent digitalisées et mises à l'échelle (1:25.000), la topologie et la base de données attributaires construites. La quasi-totalité des plans d'information fut transformée en format raster afin de tirer profit des avantages des deux approches conceptuelles.

#### 3.3. Logiciels utilisés

Constitution et analyse de la base de données localisées sont le fruit d'un ensemble de logiciels où le SIG apparaît comme un maillon dans la chaîne de traitement. Ont été employés:

- \* Alliance (Icare International), SIG vectoriel: digitalisation et calculs de proximité
- \* Cartima (M. Paegelow), SIG raster: analyse horizontale et verticale
- \* Didactim (Icare International), logiciel de traitement d'image: calcul du MNT et cartes dérivées, morphologie mathématique
- \* Corel Draw (Corel Corp.), logiciel de CAO: conversions vecteur - raster, divers traitements de base
- \* Excel (Microsoft), logiciel statistique: traitement statistique.

### 4. Traitement de la base de données

#### 4.1. Analyse horizontale (traitements au sein d'un plan d'information)

<sup>4</sup> communication non publiée de la part de Bertrand DESAILLY

Tous les plans d'information firent l'objet d'une analyse statistique de base. Pour les données ordonnées ou quantitatives l'histogramme fréquentiel permet de connaître le type de répartition. Une analyse de voisinage donna des renseignements sur l'entrelacement paramétrique.

La carte altitudinale ( équidistance de 50 m ) digitalisée fut convertie en mode raster pour construire le MNT et calculer la carte des pentes et des expositions. Un calcul de proximité permit d'obtenir une carte tampon autour du réseau routier.

#### 4.2. Analyse verticale ( mise en relation de plusieurs plans d'information )

L'intersection des trois plans d'occupation du sol ( 1942, 1962 et 1989 ) aboutit à des cartes d'évolution par période et à une carte d'évolution globale avec 27 possibilités d'évolution potentielles. Celles-ci peuvent être regroupées en trois classes de dynamique du milieu: a) stabilité ( par exemple une lande classée telle pour les trois dates retenues ), b) ouverture du milieu ( un bois devenant lande, un bois ou une lande devenant espace cultivé ) et c) fermeture du milieu ( culture évoluant vers la lande, culture ou lande passant à l'état boisé ). Seules les dynamiques significatives affectant au moins 1 % de la surface totale firent l'objet des traitements suivants. Pour la commune de Sansa représentant 20 % de la superficie de la zone d'étude l'année 1824 permet de remonter jusqu'au début de l'évolution du milieu décrite ci-dessus. Tenant compte de la situation géographique particulière de cette commune, la situation de Sansa en 1824 fut extrapolée à l'ensemble des Garrotxes<sup>5</sup>.

Sur la base d'une fonction polynomiale de troisième degré une extrapolation de 20 ans dans le futur donna le poids surfacique des trois catégories d'occupation du sol en 2009. L'auteur est conscient de la simplicité du modèle non linéaire appliqué ainsi que de sa signification très restreinte<sup>6</sup>.

Aussi bien les plans d'information documentant l'état paysager momentané que les cartes d'évolution furent mis en relation avec les 4 descripteurs géographiques les plus pertinents<sup>7</sup>: altitude, exposition, pente et proximité aux routes. Par rapport à ces descripteurs potentiellement " explicatifs", la répartition théorique de l'occupation du sol fut comparée à la répartition réelle. Les surreprésentations surfaciques de l'occupation du sol pour chaque catégorie des descripteurs du milieu furent examinées sur la base d'une répartition normale avec un intervalle de confiance de 0.01. Les relations occupation du sol - descripteur du milieu correspondant à ce critère sont considérées significatives et furent traduites en plans d'information exprimant les contraintes d'évolution ( masques ). La simulation spatio-temporelle de l'état paysager en 2009 se base sur l'extrapolation des courbes d'évolution décrites ci-dessus. S'appuyant sur l'étendue probable des catégories d'occupation du sol et sur les fluctuations entre les trois catégories, la dynamique paysagère fut simulée à l'aide d'outils de la morphologie mathématique étudiant les comportements spatiaux passés des différentes formations et guidée par les masques résultant de la base de connaissances établie.

## 5. Résultats

### 5.1. Dynamique passée et simulation globale de l'état paysager futur

Garrotxes	1824	1942	1962	1989	2009
Lande	54.4	51.2	50.7	44.7	41.5
Bois	27.9	45.7	47.4	55.0	58.5
Culture	17.7	3.1	1.9	0.3	0.0

Tableau n°1: Surfaces en % des trois grandes classes de formations paysagères dans les Garrotxes.

<sup>5</sup> La consultation des archives départementales permettra de vérifier cette hypothèse et d'aboutir à un modèle d'extrapolation rétrospectif à caractère plus général.

<sup>6</sup> une simulation par système expert est en cours d'expérimentation

<sup>7</sup> sur la base d'analyses factorielles des correspondances ( AFC ) et d'analyses en composantes principales ( ACP )

## 5.2. Mise en relation de l'occupation du sol avec les descripteurs pertinents du milieu et élaboration de la base de connaissances

Selon la méthode esquissée ci-dessus ( 4.2. ) les corrélations entre les quatre descripteurs du milieu retenus et l'évolution de l'occupation du sol peuvent être résumées de la façon suivante.

a) Les espaces stables ( sans changement d'occupation du sol ):

Les espaces boisés sont surreprésentés entre 1750 et 2150 m, sur des expositions WSW et plat et à une distance par rapport aux routes comprise entre 200 et 300 m. Les landes ont une occurrence significativement supérieure à la moyenne à moins de 850 m, entre 1000 et 1500 m et au-dessus de 2200m, sur des versants exposés SSE, WNW et NNE et sur des pentes comprises entre 10 et 25%.

b) Les dynamiques principales ( bois vers lande et lande vers bois )<sup>8</sup> se font préférentiellement à basse altitude ( < 1250 m ), sur des versants exposés ESE ( et NNE pour les landes devenant bois ), sur des pentes élevées ( > 20 % ) et à une distance par rapport au réseau routier comprise entre 100 et 200 m.

Ces connaissances sur la dynamique passée furent traduites en masques spatiales de trois catégories:

a) Pour les espaces stables, l'intersection des pixels concernés par les classes des plans descripteurs énoncés donne un masque des terroirs exclus de la dynamique future.

b) De même les connaissances sur la localisation préférentielle des deux dynamiques fortes sont traduites dans un plan masque faisant ressortir les terroirs ayant une probabilité accrue d'évolution dans le futur.

c) Les pixels non concernés par les deux masques précédents constituent un plan masque des terroirs à évolution possible.

Les résultats de l'analyse morphomathématique de la dynamique passée sont extrapolés à l'état paysager de 2009 simulé en se basant sur deux facteurs limitatifs: l'ampleur du changement attendu et la localisation préférentielle de cette dynamique matérialisée par les 3 masques<sup>9</sup>.

## 6. Conclusion et perspectives

La simulation de l'état paysager futur d'une petite région dans les Pyrénées Orientales se base sur l'analyse de la dynamique passée et l'explication partielle de sa répartition spatiale. Elle fait appel à un modèle de tendance non linéaire simple en ce qui concerne le poids surfacique futur de chaque unité paysagère et des techniques de traitement d'image et des SIG pour spatialiser cette évolution simulée. L'animation en 3d de l'évolution historique connue et de la dynamique future simulée par imagerie de synthèse exprime les résultats de manière intuitive et pédagogique.

Les traitements mis en oeuvre afin de simuler l'état paysager futur n'ont aucune vocation à prédire ce que sera le paysage. Il s'agit d'un modèle est intrinsèquement restrictif. Par contre, cette approche permet de simuler plusieurs scénarios et de spatialiser les changements paysagers prévus.

Les recherches effectuées sont de par l'extrême simplification de la réalité paysagère et de par le fait qu'on étudie un espace unique à considérer comme une étude pilote. Multiples sont les améliorations et apports complémentaires à réaliser. Il s'agira, d'une part, d'itérer cette démarche sur d'autres espaces dans les Pyrénées tout en affinant la nomenclature paysagère<sup>10</sup>. D'autre part, une variation de l'échelle permettra vraisemblablement d'améliorer la corrélation entre les descripteurs du milieu potentiellement explicatifs et la répartition spatiale de l'occupation du sol; notamment à grande échelle l'inclusion du statut foncier semble prometteur. Sur le plan méthodologique l'interpolation et l'extrapolation temporelles ne sont qu'au stade expérimental. Des études répétées et des confrontations avec d'autres techniques ( systèmes expert, systèmes multi agent ) sont nécessaires.

<sup>8</sup> Les cultures qui tendent vers la disparition furent écartées de ce traitement axé sur la simulation de l'état paysager futur

<sup>9</sup> Le résultat cartographique de cette simulation spatio-temporelle ainsi que la reprise de l'évolution par imagerie de synthèse en 3d ne furent pas terminés à la date limite impartie pour cette communication mais sont exposés lors des sessions posters.

<sup>10</sup> Deux études sont actuellement en cours au laboratoire Géode