



**HAL**  
open science

## Caractérisation des trajectoires d'évolution de l'occupation et de l'usage des sols. Approche multi-scalaire appliquée aux Pyrénées

Laure Vacquié, Thomas Houet, Christelle Vigneau

### ► To cite this version:

Laure Vacquié, Thomas Houet, Christelle Vigneau. Caractérisation des trajectoires d'évolution de l'occupation et de l'usage des sols. Approche multi-scalaire appliquée aux Pyrénées. SAGEO, Sep 2013, Brest, France. hal-01202531

**HAL Id: hal-01202531**

**<https://hal.science/hal-01202531v1>**

Submitted on 21 Sep 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Caractérisation des trajectoires d'évolution de l'occupation et de l'usage des sols

## *Approche multi-scalaire appliquée aux Pyrénées*

Laure Vacquié, Thomas Houet et Christelle Vigneau<sup>1</sup>

1. Laboratoire GEODE, Université Toulouse 2 Le Mirail  
5 allée Antonio Machado, 31000 Toulouse, France  
laure.vacquie@univ-tlse2.fr, thomas.houet@univ-tlse2.fr, c.vigneau6@gmail.com

---

*RESUME.* La reforestation des espaces montagnards est un phénomène global dont l'ampleur et la vitesse s'amplifient depuis plus d'un demi-siècle, affectant l'organisation paysagère des vallées Pyrénéennes. Cet article vise à caractériser les changements d'occupation et d'usage des sols à différentes échelles spatiales et temporelles. Une approche de classification semi-automatique (GEOBIA) est proposée pour la cartographie de l'occupation des sols depuis les années 1940 sur trois sites d'étude locaux. Les résultats témoignent d'une fermeture des espaces agro-pastoraux par des processus d'enfrichement et de reforestation spontanée. La distribution spatiale de ces changements présente toutefois des dynamiques différentes selon les sites. Même si les facteurs explicatifs de ces transformations sont les mêmes, des disparités locales apparaissent du fait de facteurs naturels et anthropiques spécifiques. Ces résultats sont ensuite confrontés aux tendances régionales afin d'analyser la représentativité des vallées par rapports aux dynamiques observées à plus large échelle.

*ABSTRACT.* Natural reforestation in mountain regions is a well-known phenomenon that has been developing for the last fifty years, affecting landscape dynamics of Pyrenean valley. This paper aims at assessing land-cover and land-use changes in the French Pyrenees at various spatial and temporal scales. A semi-automatic GEOBIA approach is applied to produce land cover maps since the 1940s in three local study sites. The results indicate a landscape enclosure due to forest encroachment and spontaneous reforestation. However, the spatial distribution of changes differs from a site to another. Although main drivers of encroachment are the same, local disparities appear because of specific natural and anthropogenic factors. Results are then compared to regional LUCC trajectories to assess valley's representativeness of regional trends.

*MOTS-CLES :* Photographies aériennes, dynamiques d'occupation et d'usages des sols, reforestation, géomatique, Pyrénées, données multi-scalaires.

*KEYWORDS:* Aerial photographs, land use and land cover dynamics, reforestation, GIS, Pyrenees, multi-scaled data.

---

## 1. Introduction

A partir des années 70, il a été admis que l'occupation et l'utilisation des sols a une influence sur les échanges énergétiques entre terre et atmosphère, impactant à la fois sur le climat (Pielke, 2002), la qualité de l'eau ou des sols, les cycles biogéochimiques, la biodiversité, etc. (Steffen et *al.*, 2004, Gillson, 2009) à des échelles globales, régionales et locales (Lambin et *al.*, 2006). Les milieux montagnards sont représentatifs de ces enjeux en ce sens qu'ils ont connu au cours des derniers siècles une évolution marquée (Métailié, 2006), cet héritage ainsi que la diversité des activités agro-pastorales actuelles influant encore aujourd'hui sur l'organisation des paysages de vallée. Mais, même si ces activités ont de tout temps modelé et entretenu ces espaces, on observe depuis les cinquante dernières années des dynamiques d'afforestation et de fermeture des milieux liées à un déclin des activités de production en zone de montagne et un exode rural massif (Galop et *al.*, 2011).

L'objectif de cet article est de caractériser les trajectoires d'évolution de l'occupation et de l'usage des sols à une échelle locale, en comparant trois sites, et de les comparer aux dynamiques régionales afin (1) de montrer l'intérêt d'une approche multi-scalaire dans la caractérisation des processus de fermeture de paysage et (2) d'identifier les facteurs explicatifs de ces changements. Ce travail se base sur des cartographies issues de photographies aériennes des soixante dernières années permettant, à un pas de temps décennal, d'analyser les dynamiques d'occupation des sols. L'utilisation d'indicateurs cartographiques et statistiques permet de quantifier et de spatialiser les changements afin de caractériser l'évolution des vallées. On part de l'hypothèse que des disparités locales existent à l'échelle du massif, les changements d'occupation et d'usage des sols étant influencés à la fois par des facteurs naturels (climat, géomorphologie, pédologie...) et anthropiques (pression urbaine, usages...).

## 2. Sites d'étude

Cette recherche est réalisée à l'échelle de trois sites d'étude (figure 3) suivant un gradient d'ouest en est le long de la chaîne Pyrénéenne : le Davantaygue (76m<sup>2</sup>), le Haut-Vicdessos (244m<sup>2</sup>) et les Garrotxes (85m<sup>2</sup>). Le premier site est situé à la périphérie du Parc National des Pyrénées. Le second site comprend plusieurs communes du Parc Naturel Régional d'Ariège, et le troisième site se situe dans le Parc Naturel Régional des Pyrénées Catalanes. Le choix de ces trois sites résulte de la convergence d'intérêts scientifiques (projets de recherches) et techniques (disponibilité de données satellitaires, de relevés terrains et de cartographies d'occupation des sols).

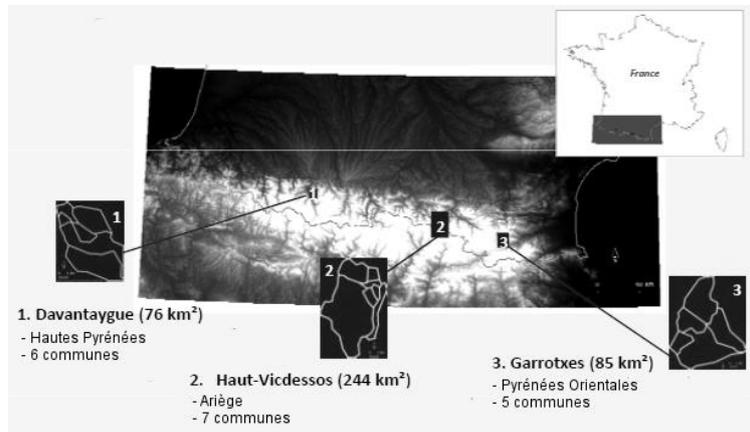


Figure 1. Localisation des sites d'étude locaux

### 3. Matériels et méthodes

#### 3.1. Données disponibles

Les changements d'occupation du sol ont été identifiés à partir de photographies aériennes. Les photographies aériennes panchromatiques couvrent la période des années 1940 aux années 1990, et sont complétées pour la période récente (1990-2010) de photographies couleurs. Chaque zone d'étude compte entre six et huit orthophotoplans historiques, présentant un pas de temps quasi décennal (tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques des photographies aériennes

	Années	Nb de clichés	Emulsion	Echelle	Résolution
Davantaygue	1948/1959/1971/ 1978/1989/2001	67	Panchro / Couleur	1 :15000 à 1 :30000	0.5 m
Vicdessos	1942/1953/1962/1976/ 1983/1993/2003/2008	286		1 :25000 à 1 :30000	
Garrotxes	1942/1962/1980/ 1989/2000/2009	104			

#### 3.2. Cartographie des modes d'occupation et d'usages des sols

La méthode développée pour produire chaque cartographie d'occupation des sols se base sur les principes du GEOBIA (GEOgraphic Object-Based Image Analysis), une méthode de classification qui considère les entités géographiques comme des

objets contextuels homogènes (Blaschke, 2010). Les traitements appliqués consistent à (1) segmenter chaque orthophotoplan en objets homogènes, ou polygones, selon des critères de teinte, de texture, de taille et de forme puis à (2) classifier l'image en affectant manuellement chaque objet à la classe d'occupation du sol correspondante. Les polygones contigus d'un même type d'occupation du sol sont ensuite fusionnés afin de permettre une meilleure représentativité des entités de même classe. Afin de limiter les éventuelles erreurs de sur-détection liées aux petits décalages persistants entre les orthophotoplans, la segmentation pour une date  $t$  tient compte des limites vectorielles de la carte classifiée à la date  $t-1$  (figure 2). La méthodologie est présentée en détail dans Houet *et al.* (2012). Les classifications sont ensuite validées en utilisant des données de terrain (pour les dates récentes) ou des vues historiques obliques (pour les périodes plus anciennes) lorsqu'elles sont disponibles.

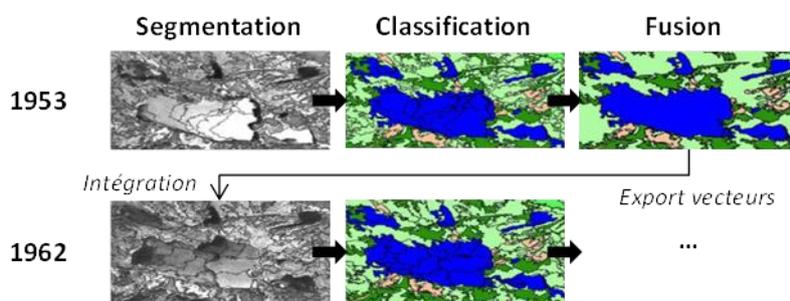


Figure 2. Méthodologie GEOBIA de classification à partir d'orthophotoplans historiques destinée à éviter les erreurs de sur/sous détection liées aux décalages spatiaux inhérents au contexte topographique montagnard

### 3.3. Analyse des dynamiques d'évolution

#### 3.3.1. Une approche comparative par zonage altitudinal

Les espaces agro-pastoraux se structurent autour de zones d'usages spécifiques : les zones de fonds de vallées, les zones intermédiaires et les estives. Leurs limites, principalement altitudinales, sont spécifiques à chaque vallée, et varient selon la période considérée (Houet *et al.*, 2012). Afin d'appréhender plus finement leur évolution, il est nécessaire de distinguer ces secteurs géographiques. On choisit donc de subdiviser chaque vallée en trois zones (altitude, versant, fond de vallée) les plus représentatives des espaces fonctionnels, à la date la plus ancienne. Les zones d'altitude sont assimilées aux zones de pâturages estivaux (présence de cabanes pastorales et d'orris). Les zones de versant regroupent les secteurs de granges, utilisés à l'intersaison par les éleveurs tandis que les zones de fond de vallées correspondent aux bâtiments d'exploitation. La définition des zonages se base ainsi sur des critères à la fois géographiques (altitude, pente, exposition) et agronomiques (type d'utilisation des espaces) déterminés par les cartes d'occupation des sols les

plus anciennes et par des recherches bibliographiques. Ces critères ont été établis de manière générique pour chaque vallée afin d'assurer au maximum la comparabilité des espaces agro-pastoraux entre les sites et leurs dynamiques d'évolution.

### 3.3.2. Analyse des changements d'occupation des sols

L'analyse des changements d'occupation et d'usages des sols s'effectue en deux temps : (1) le calcul d'indicateurs retranscrivant l'ampleur et la vitesse de fermeture des milieux et (2) la caractérisation des changements et de leur répartition spatiale.

L'ampleur et la vitesse de fermeture des paysages sont évaluées grâce à deux indicateurs simples calculés à partir des statistiques d'occupation des sols. L'ampleur est mesurée par l'évolution de la part de surface boisée par rapport à la zone considérée (zone entière, d'altitude, de versant et de fond de vallée). La vitesse est mesurée à travers deux indicateurs, calculés pour chaque site et pour chaque zone :

– le taux annuel de changements forestiers (R) mesure un taux moyen annuel de gains ou de pertes nettes des surfaces forestières sur une période donnée, une valeur positive traduisant un phénomène d'afforestation, et inversement (FAO, 1995).

$$R = \left[ \left( \left( \frac{A_{n+1}}{A_n} \right)^{1/t} \right) - 1 \right] * 100 \quad (1)$$

Où  $A_n$  = surfaces en forêt à la date  $n$   
 $A_{n+1}$  = surfaces en forêt à la date  $n + 1$   
 $T$  = durée de la période ( $n - n + 1$ )

– le taux d'accroissement moyen annuel (A2, en %) des surfaces boisées permet de témoigner d'une accélération ou non de la fermeture des paysages. Ce taux est normalisé par la taille de la zone concernée ce qui permet de comparer les dynamiques de fermeture entre les différentes vallées.

## 4. Résultats

A l'échelle des trois vallées, on observe une modification des paysages, passant de milieux agricoles et pâturés à des étendues recolonisées par la forêt. Toutefois, l'ampleur et le rythme de ces changements diffèrent selon les sites et les zones d'usages.

La vallée des Garrotxes est l'exemple classique de l'évolution des vallées montagnardes subissant les effets de l'exode rural et de la faible exploitation de ses ressources depuis les années 50 : les terres labourées sont d'abord converties en près de fauche puis progressivement laissées au pâturage extensif avant d'être abandonnées et aujourd'hui colonisées par la forêt à tous les étages. L'indicateur R (figure 3) rend compte d'une modification dans la vitesse de fermeture. A l'échelle du site, on observe des dynamiques similaires à tous les étages jusqu'au début des années 1990 avec un taux annuel de changements forestiers en baisse constante (+0.70% entre 1942/1962, +0.55% entre 1962/1980 et +0.19% entre 1980/1989). Si

l'on considère les zones de versant, on observe une forte progression de ce taux durant la période 1989-2000 (+1.03%), suivie d'un très net ralentissement pour la période 2000-2009 (+0.54%). A l'inverse, les zones d'altitude connaissent une faible évolution jusqu'en 2000 (R inférieur à +0.05%/an soit moins de 1ha de forêts en plus par an) pour atteindre +0.28%/an après 2000 soit un gain net de 5.8ha/an de surfaces boisées. Cette relative stabilité s'explique par le fait que plus de deux tiers des surfaces en 1942 sont déjà occupées par des forêts, laissant peu d'espace à une extension supplémentaire. Ces dynamiques d'abandon s'expliquent principalement par l'extrême isolement de cette vallée où l'accessibilité constitue un réel frein à l'exploitation des ressources, qu'elles soient sylvicoles ou pastorales (Paegelow et al., 2004).

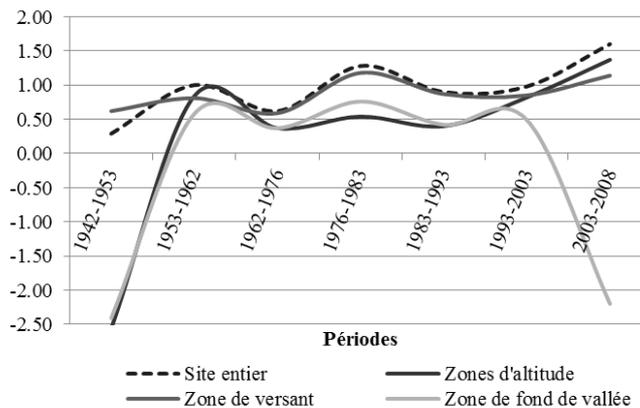


Figure 3. Taux annuel de changements forestiers (R en %) dans les Garrotxes

Dans le Vicdessos (figure 4), la fermeture des zones de versant est progressive et suit les tendances observées à l'échelle de la vallée. Des coupes forestières effectuées entre 1942 et 1953 expliquent le faible taux de R à cette période dans les zones d'altitudes et de fond de vallée. Au niveau de ces dernières, la fermeture est plus importante à partir des années 60 (R entre +0.37% et +0.58%). Cet enrichissement marque le début de l'abandon des petites parcelles agricoles, s'exprimant par un phagocytage progressif par les haies bocagères les délimitant. La diminution de R entre 2003 et 2008 s'explique par le court intervalle de temps entre les deux cartographies et par un taux de surfaces boisées déjà élevé dès les années 2000 (66%). Les zones d'altitude présentent une faible évolution avant 1962. On note cependant une accélération à partir des années 90 (R entre +0.82% et +1.37%/an). La fermeture des estives est, de façon relative aux espaces considérés, plus forte que l'évolution observée à l'échelle du site entier sur certaines périodes, avec un décalage d'environ 30 ans. Globalement, on observe à l'échelle de la vallée une homogénéisation des paysages avec des versants forestiers qui empiètent à la fois sur les estives et les fonds de vallées dû à un ralentissement des activités agropastorales et l'extension des arbres issus des travaux de reboisement (Carré, 2010).

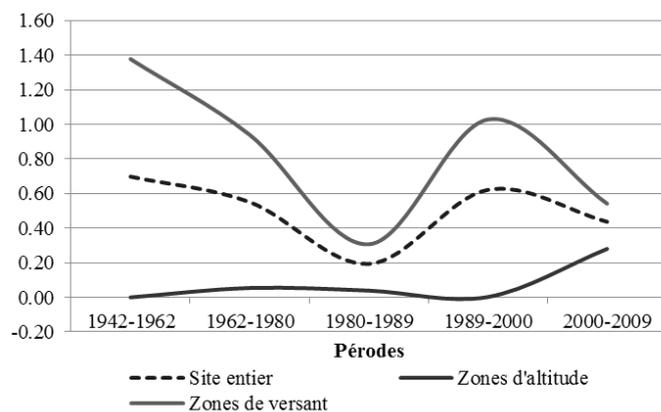


Figure 4. Taux annuel de changements forestiers (R en %) dans le Vicdessos

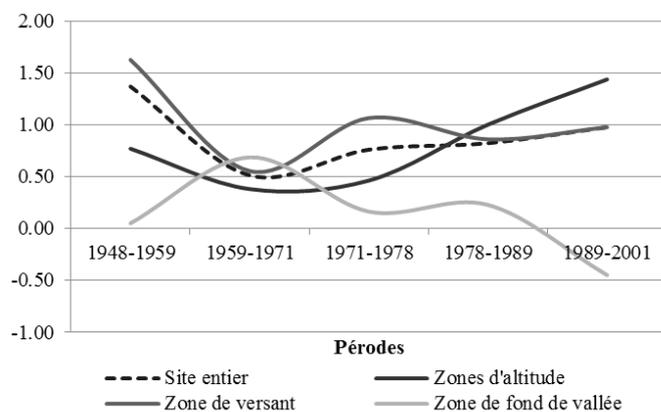


Figure 5. Taux annuel de changements forestiers (R en %) dans le Davantaygue

Même si le paysage du Davantaygue reste relativement stable depuis les années 50 (figure 5) les dynamiques d'enfrichement tendent à s'amplifier depuis les années 70 principalement en zones de versants. Ces dernières affichent des taux de changements importants sur la période 1971-1978 (+1.07%) qui resteront relativement stables jusqu'en 2001 (+0.86% et +0.98%). Ces dynamiques vont de pair avec un abandon progressif de ces espaces pentus, difficilement exploitables et mécanisables, et parfois éloignés des sièges d'exploitation (Gibon et *al.*, 2010). Tandis qu'en zone de fond de vallée le taux de changement forestier moyen diminue

(+0.17% entre 1971/1978, +0.23 entre 1978/1989 et -0.45% entre 1989/2001), il tend à augmenter de manière constante en zone d'altitude pour atteindre des tendances similaires à celles observées à l'échelle de la vallée (+1.44% entre 1989/2001). Les effets de l'extensification de l'utilisation des sols entraînent ainsi des dynamiques de fermeture des paysages irréversibles (Couvreur et *al.*, 1999) en zone de versant et d'altitude. Dans le même temps, le maintien des activités agro-pastorales et la ré-intensification des pratiques dans les années 80 suite notamment à la mise en place de mesures agro-environnementales (réformes de la PAC) encourageant l'exploitation des prairies de montagne (Mottet, 2005) permettent d'entretenir et de conserver l'organisation traditionnelle du paysage montagnard dans les fonds de vallées et les bas de versant.

## 5. Discussion

### 5.1. Sur la méthode

La méthodologie suivie pour la réalisation des cartes d'occupation des sols, en traitant de manière semi-automatique des zones homogènes et contextuelles, offre des résultats satisfaisants ; les méthodes de classifications automatiques étant encore trop peu adaptées au traitement d'anciennes photographes aériennes panchromatiques. Cette approche a déjà montré son efficacité pour la cartographie des dynamiques d'enfrichement à partir d'images aériennes panchromatiques et d'images satellites à haute résolution spatiale (Laliberte et *al.*, 2004). L'utilisation des délimitations de chaque entité géographique à la date antérieure rend cette méthode d'autant plus robuste qu'elle permet également de s'affranchir d'erreur de classification due à des décalages entre unités géographiques identiques lors des segmentations du fait de différences de teinte ou de texture entre photographies multi-dates. En reposant sur une nomenclature développée de manière concertée avec les différents chercheurs spécialistes des Pyrénées, prenant en compte les différents modes d'occupation des sols de chaque espace agro-pastoral, cette méthode est générique et donc transposable à n'importe quelle vallée Pyrénéenne.

En outre, le choix d'utiliser des indicateurs statistiques simples relève ici d'un besoin de quantifier l'ampleur et la vitesse des changements. En effet, l'objectif n'était pas ici de mesurer l'évolution de l'organisation spatiale de la fermeture paysagère, qui ne témoigne pas d'un *pattern* spécifique du fait de l'influence de la topographie, mais bien de caractériser les trajectoires d'évolution des types d'occupation et d'usages des sols. Ainsi, contrairement aux métriques paysagères qui cherchent à quantifier l'organisation de la mosaïque paysagère et son hétérogénéité, les indicateurs utilisés permettent d'évaluer et de comparer les dynamiques de la fermeture des vallées Pyrénéennes, rendant possible la détection des décalages temporels entre chaque site.

## 5.2. Des tendances similaires à celles observées à l'échelle du massif Pyrénéen

Les dynamiques de déprise et d'afforestation observées à l'échelle des vallées, relevant de facteurs naturels et anthropiques, reflètent les tendances globales liées à l'évolution démographique et économique du massif. Ces tendances, combinées aux difficultés que connaissent les activités agro-pastorales depuis les dernières années, ont un impact très marqué sur l'espace Pyrénéen. Les activités traditionnelles sont en concurrence foncière pour l'usage de l'espace. Le fonctionnement des exploitations est, lui, perturbé par le tourisme qui renchérit les coûts. Ces difficultés sont aggravées par la nécessité pour les éleveurs de montagne d'avoir à leur disposition des surfaces exploitables à plusieurs niveaux d'altitude, la confiscation foncière de l'une de celle-ci entraînant la disparition d'exploitation, laissant en déshérence les terres agricoles aux autres altitudes (Comité de massif des Pyrénées, 2006). Avec la diminution du nombre d'exploitants, le vieillissement de la population, et la mise en place d'activités concurrençant l'agro-pastoralisme, la société se réorganise et les dynamiques paysagères se modifient.

Toutefois, le système Pyrénéen se présente comme un système territorial hétérogène où la diversité des modes d'occupation et d'usage des sols est à l'image de la diversité des orientations agro-pastorales. La productivité des surfaces agricoles, dépendante des conditions pédoclimatiques d'ouest en est de la chaîne, détermine les surfaces moyennes des exploitations agricoles et *a fortiori* la distribution spatiale des cheptels (figure 6) et la place des activités de production. En parallèle, les dynamiques de fermeture des vallées vont être directement corrélées avec l'intensité des activités agro-pastorales.

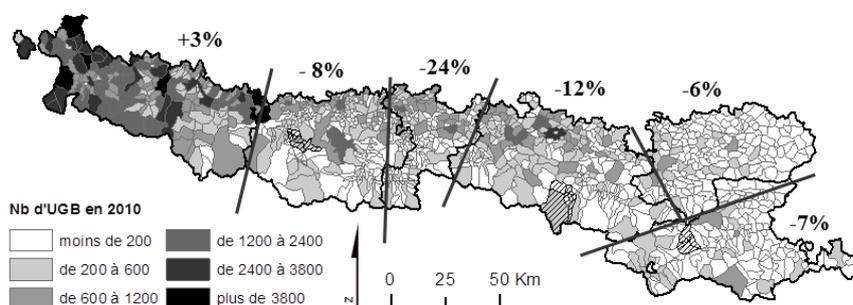


Figure 6. Nombre d'UGB (Unités Gros Bétail) en 2010 et évolution par département (1988-2010) (Données : RGA 2010)

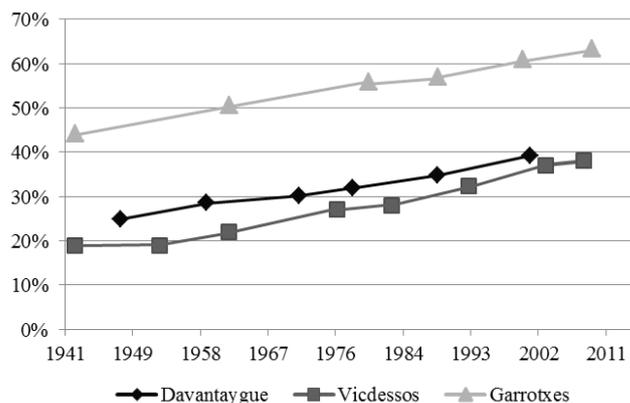


Figure 7. Evolution du taux de surfaces boisées à l'échelle des trois sites (en %)

Force est de constater que les périodes de rupture des systèmes agro-pastoraux de chacune des vallées reflètent les dynamiques du massif Pyrénéen suivant un gradient d'est en ouest de la chaîne. Un potentiel agronomique traditionnellement faible et un nombre d'UGB en baisse (-7%) va de pair avec les dynamiques de déprise les plus anciennes (dès les années 40) dans les Garrotxes (figure 7). La vallée du Davantaygue dont la période de rupture dans les années 70 est la plus tardive - et malgré une baisse du nombre d'UGB (-8%) - bénéficie de l'influence et du dynamisme des Pyrénées Atlantiques. La vallée du Vicdessos située entre ces deux pôles tant d'un point de vue géographique que temporel (rupture dans les années 60), présente des dynamiques de déprise qui pourraient donc potentiellement entraîner une fermeture complète du paysage dans les années à venir, à l'image des dynamiques récentes observées dans les Garrotxes.

### 5.3. De l'intérêt d'une approche multi-scalaire

Il est admis que les dynamiques d'occupation et d'utilisation des sols sont le résultat de processus multiples qui s'opèrent à différentes échelles (Turner II et *al.*, 1995). Même si globalement des dynamiques similaires s'observent à l'échelle du massif (enfrichement, afforestation), l'évolution récente des modes d'occupation et d'usage des sols affecte de manières différenciées l'organisation paysagère des vallées Pyrénées. L'analyse de ces dynamiques à des échelles fines nécessite l'utilisation de données cartographiques à des résolutions spatiales adaptées. Les cartographies régionales de l'occupation des sols actuellement disponibles, telles que Corine Land Cover, bien qu'offrant une base de connaissance non négligeable sur les tendances du massif, ne permettent pas de retranscrire finement l'évolution des paysages observée à l'échelle des vallées (figure 8). Entre 1990 et 2006, le taux de surface boisé y demeure stable tandis qu'on observe une légère diminution des surfaces agricoles de versant (-5%), contrebalançant une augmentation (+6%) des

pelouses. Cette stabilité montre que, de manière générale, l'utilisation de données aériennes et/ou satellitaires présentant une trop faible résolution spatiale ne permet de détecter que partiellement les espèces végétales dominantes et de caractériser de manière succincte les types d'occupation du sol. Détectés comme relativement homogènes à une résolution spatiale large, ils peuvent s'avérer hétérogènes à une échelle spatiale plus fine (Gibson *et al.*, 2000).

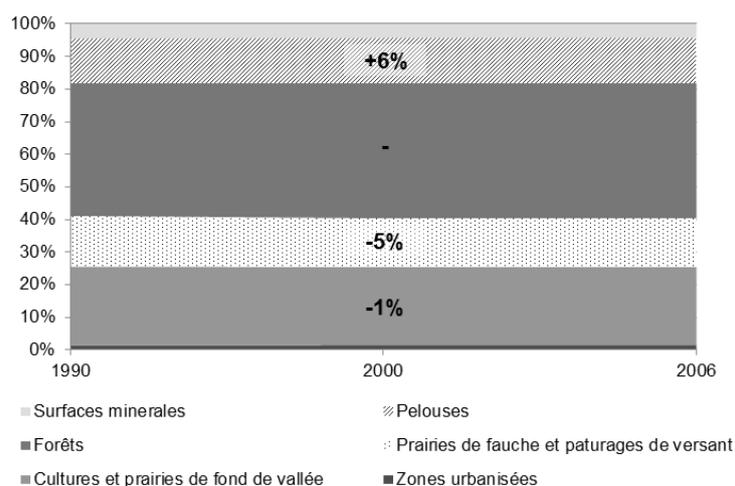


Figure 8. Evolution de l'occupation du sol à l'échelle du massif Pyrénéen (en %) (Source : Corine Land Cover)

Ces observations montrent d'une part la nécessité de cartographies fines à l'échelle du massif afin de réduire au maximum l'hétérogénéité au sein de chaque entité de végétation et d'autre part l'importance de la prise en compte des échelles pour la compréhension des phénomènes d'enfrichement. Dans un milieu complexe où les facteurs d'évolution sont dépendants de l'échelle d'étude considérée, l'échelle spatiale choisie pour l'observation des changements d'occupation et d'usage des sols a une influence significative sur leur organisation spatiale. A ce titre, les démarches de modélisation à des échelles spatiales indépendantes posent des problèmes d'interprétation et de compréhension des dynamiques d'évolution des milieux.

L'utilisation conjointe de données régionales et locales permet alors d'appréhender les facteurs d'évolution d'un système dans son intégralité en prenant en compte l'interaction de processus à des échelles spatiales différenciées (Bürgi *et al.*, 2004). Cette approche permet d'analyser la diversité interne d'un paysage à l'échelle de la vallée, mais aussi de mesurer sa singularité par rapport au milieu environnant à une échelle plus petite (Germaine et Puissant, 2007) afin d'analyser la représentativité d'une vallée par rapport aux dynamiques observées à l'échelle du massif Pyrénéen.

## 6. Conclusion et perspectives

L'analyse des changements d'occupation des sols observés sur ces trois vallées montrent des dynamiques globalement similaires : les espaces fermés (zones de recolonisation, forêts de conifères et de feuillus) succèdent aux espaces ouverts (cultures, prairies de fauche) à des rythmes cependant différenciés selon les sites. La distinction entre les secteurs agro-pastoraux des zones de fonds de vallées, de versant et d'altitude nous a permis d'identifier plus finement la complexité des changements d'occupation et d'usages des sols. Même si globalement les dynamiques de fermeture des vallées sont dues à une diminution de l'intensité des pratiques agro-pastorales, les processus d'enfrichement et de reforestation varient selon les sites. Ces décalages temporels proviennent principalement de facteurs environnementaux, climatiques et socio-économiques locaux, reflétant les dynamiques observées à l'échelle du massif Pyrénéen. Afin de retranscrire plus précisément les changements fins de l'occupation des sols à l'échelle régionale, des cartographies précises sont cependant nécessaires. Les résultats obtenus renforcent l'intérêt d'une approche multi-scalaire pour appréhender les interactions entre processus locaux et régionaux et *a fortiori* l'étude des dynamiques paysagères à l'échelle de vallées.

### Remerciements

*Ce travail s'inscrit dans le projet MODE-RESPYR (Modélisation rétrospective et prospective des changements d'occupation des sols dans les Pyrénées) qui s'attache à l'étude des dynamiques d'occupation et d'usages des sols dans les Pyrénées à différentes échelles spatiales et temporelles. Cet article a bénéficié du soutien du projet ANR 2010 JCJC 1804 01 « MODE RESPYR » (<http://w3.mode-respyr.univ-tlse2.fr/index.php>) et de l'Observatoire Hommes-Milieus (OHM) du Haut-Videssos (<http://w3.ohmpyr.univ-tlse2.fr/>), intégré au Labex DRIHM, soutenu par l'Institut Ecologie et Environnement (InEE) du CNRS.*

## Bibliographie

- Blaschke T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol 65, n°1, p. 2-16.
- Bürgi M., Hersperger A.-M., Schneeberger N. (2004). Driving forces of landscape change – current and new directions. *Landscape Ecology*, vol. 19, p. 857-868.
- Carré J. (2010). *Le temps des paysages. Evolutions paysagères et gestion durable des territoires en montagne Pyrénéenne (hautes vallées du gave de Pau et du Videssos)*. Thèse de Géographie, Université Toulouse II Le Mirail.
- Comité de massif des Pyrénées (2006). *Schéma interrégional d'aménagement et de développement des Pyrénées*. Rapport interne. décembre 2006.
- Couvreur M., Mitteault F. et Pech M. (1999). Les mesures agri-environnementales mises en œuvre en France. *Economie rurale*, vol. 249, p. 6-9.
- FAO. (1995) *Forest resources assessment*, Global Synthesis. Food and Agricultural Organization, Rome.

- Galop D., Houet T., Mazier F., Leroux G. et Ruis D. (2011). Grazing activities and biodiversity in the Pyrenees : new insight on high altitude ecosystems in the framework of a Human-Environment Observatory. *PAGESNews*, vol. 19, n°2, p. 53-55.
- Germaine M.-A., Puissant A. (2007). Cartographie et caractérisation quantitative des paysages de « vallées ordinaires » : l'exemple de la Seulles, *Acte du colloque international de Géomatique et d'Analyse Spatiale - SAGEO*, 2007, Clermont-Ferrand.
- Gibson A., Sheeren D., Monteil C., Ladet S. et Balent G. (2010). Modelling and Simulating change in reforesting mountain landscapes using a social-ecological framework, *Landscape Ecology*, vol. 25, p. 267-285.
- Gibson C.-C., Ostrom E. et Anh T.-K. (2000). The concept of scale and the human dimensions of global change : A survey, *Ecological Economics*, vol. 32, p. 217-239.
- Gillson L. (2009). Landscapes en Time and Space, *Landscape Ecology*, vol. 24, p. 149-155.
- Houet T., Ribière O., Vacqué L., Vidal F. et Galop D. (2012). Analyse spatiale de l'évolution des modes d'occupation et d'usages des sols sur le Vicdessos de 1942 à nos jours, *Revue du Sud-Ouest Européen*, Presses Universitaires du Mirail, n°33, p. 41-57.
- Houet T., Loveland T., Hubert-Moy L., Gaucherel C., Napton D., Barnes C. et Sayler K. (2010). Exploring subtle land use and land cover changes: a framework for future landscape studies, *Landscape Ecology*, vol. 25, p. 249-266.
- Laliberte A.S., Rango A., Havstad K.M., Paris J.F., Beck R.F., McNeely R. et Gonzalez A.L. (2004). Object-oriented image analysis for mapping shrub encroachment from 1937 to 2003 in southern New Mexico, *Remote Sensing of Environment*, vol. 93, p. 198-210.
- Lambin E.-F. et Geist H.-J. (2006). Land-Use and Land-Cover Change - Local processes and Global impacts, *Global Change – The IGBP Series*, Ed. Springer.
- Métaillé J.-P. (2006). La dégradation des montagnes au XIXe siècle dans les Pyrénées. *Temps et espaces des crises de l'environnement. Sociétés et ressources renouvelables*, Paris, Quæ, p.191-210.
- Mottet A. (2005). *Transformations des systèmes d'élevage depuis 1950 et conséquences pour la dynamique des paysages dans les Pyrénées. Contribution à l'étude du phénomène d'abandon de terres agricoles en montagne à partir de l'exemple de quatre communes des Hautes-Pyrénées*. Thèse de Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques et Bioingénieries, INP Toulouse.
- Paegelow M., Villa N., Cornez L., Ferraty F., Ferré L. et Sarda P. (2004). *Modélisation prospective de l'occupation du sol. Le cas d'une montagne méditerranéenne*, <http://cybergeog.revue.org/2811>
- Pielke R.A. (2002). *Mesoscale meteorological modeling*. Academic Press, San Diego.
- Steffen W., Sanderson A., Tyson P.D., Jägle J., Matson P.A., Moore B., Oldfield F., Richardson K., Schellnhuber H.J., Turner B.L. et Wasson R.J. (2004). Global Change and the Earth System: A Planet under Pressure, *Global Change – The IGBP Series*, Ed. Springer.
- Turner II B.L., Lambin E.F. et Reenberg A. (1995). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability, *PNAS*, vol. 104, n° 25.