

## Suivi du couvert végétal sur les Hautes Chaumes du Forez (Parc naturel régional du Livradois-Forez) d'après des images SPOT

Monitoring vegetation changes of the Hautes-Chaumes du Forez (Massif Central, France) using Spot satellite images

par Christine Jacqueminet<sup>1</sup> et Bernard Etlicher<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Jean Monnet  
UMR CNRS 5600 EVS - ISTHME  
6 rue Basse des Rives  
F-42023 Saint-Etienne cedex  
04 77 42 19 25  
christine.jacqueminet@univ-st-etienne.fr  
bernard.etlicher@univ-st-etienne.fr

**Résumé** : Cet article analyse l'intérêt des images satellites pour suivre l'évolution du tapis végétal dans un secteur de moyenne montagne occupé par des landes et des pelouses. L'exploitation d'images Spot à 10 et 20 m de résolution permet de produire à chaque date une carte de la végétation selon ses caractéristiques physiognomiques. Cette information renseigne sur les processus de recolonisation des ligneux et de dégradation ou regain des formations ouvertes.

**Mots-clés** : télédétection - images haute résolution - végétation - pastoralisme.

**Abstract** : This paper emphasizes the interest of satellite imagery for the monitoring of vegetation evolutions in a middle range mountainous area covered with moorland and grassland (France, Massif Central). The use of Spot images of 10 and 20 m. resolution allows us to produce vegetation maps revealing the vegetation physiognomic characteristics. So, a better knowledge about the process of ligneous re-colonisation and the evolutions of herbaceous formations can be obtained.

**Keywords** : remote sensing - high resolution imagery - vegetation - pastoral moor.

### Introduction

Les Hautes Chaumes du Forez (4712 ha) occupent le sommet des Monts du Forez (Massif Central, France) entre 1200 et 1634 m, entre les étages montagnard et subalpin. Ces crêtes ont été défrichées par le passé et présentent aujourd'hui, au-dessus de la lisière forestière, une mosaïque de pelouses et de landes façonnées par l'activité pastorale. Cette vaste étendue ouverte (environ 9000 ha) représente l'une des richesses paysagères et écologiques du Parc naturel régional du Livradois-Forez. Cet espace compte un périmètre Natura 2000 et certains secteurs ont le statut de ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Floristique et Faunistique). L'activité pastorale est soutenue par des mesures agro-environnementales.

Ce plateau à vocation d'estive a connu à la fin des années 1990, une exploitation pastorale en déclin qui s'est traduite par un abandon des pâturages, ou dans certains secteurs, leur surexploitation. L'abandon des pâturages et la pratique de la fauche favorisent le regain des espèces ligneuses de landes (callune) au détriment des pelouses. La surfréquentation contribue, par le biais du piétine-

ment, au développement du nard (*Nardus stricta*). On observe également, une extension des surfaces forestières par reconquête naturelle, à partir de la lisière forestière, ou par reboisement volontaire. Cette transformation du couvert végétal compromet l'exploitation pastorale, menace le maintien de biotopes rares et pose le problème de la fermeture des paysages.

L'objectif de ce travail est d'élaborer un outil de surveillance de l'évolution des groupements végétaux et de l'impact des activités pastorales à l'aide de l'imagerie satellite. Les images utilisées sont des images Spot à haute résolution (10 et 20 m).

### Cartographie du couvert végétal à l'aide de l'imagerie Spot

Le suivi est conduit entre 1998 et 2005, à l'aide de deux images Spot 3 (visible et proche infrarouge) acquises les 11/09/1997 et 06/07/1998 à 20 m de résolution, pour la première période, et d'une image Spot 5 (visible, proche infrarouge, moyen infrarouge) à 10 m acquise le 27/07/2005. Les dates d'acquisition des images ont été choi-

sies au moment du développement maximal de la végétation.

Le traitement des images satellites repose sur une démarche non supervisée, à l'aide de classifications automatiques emboîtées. Elle se justifie par la grande hétérogénéité intrinsèque des groupements végétaux restituée, pixel par pixel sur les images. Cette hétérogénéité est due à de multiples facteurs naturels (diversité des espèces, variété d'avancement du stade phénologique de ces mêmes espèces à la date d'enregistrement de l'image, taux de recouvrement, ambiance climatique...) auxquels s'ajoutent, localement, les effets des pratiques pastorales (pâturage, fauchage...). De nombreux travaux de caractérisation et de cartographie phyto-sociologique ont été réalisés sur les Hautes-Chaumes (THEBAUD, 1988 ; CREN Rhône-Alpes, 2006). Ils guideront *a posteriori* l'interprétation des images classées.

Le principe des classifications automatiques emboîtées (algorithme des nuées dynamiques) consiste à extraire à chaque date, par étapes successives, les classes de végétation. À titre d'exemple, une première série de classifications, appliquée à l'image de 2005, a permis d'extraire les classes dont les caractéristiques spectrales sont bien distinctes : « Conifères », « Herbacées hautes », « Herbacées basses », « Sols nus » et « Eau ». Une deuxième série de classifications a porté uniquement sur les pixels non classés correspondant aux forêts composées de feuillus et aux landes. Ont alors été extraits, les thèmes « Forêt de conifères et de feuillus », « Forêt de feuillus », « Landes basses » (dominées par les chaméphytes), « Landes mixtes » (mélange de chaméphytes et d'herbacées). Les tourbières présentes sur les Hautes-Chaumes n'ont pu être distinguées, leurs groupements végétaux se confondent avec les classes précédemment distinguées. La confrontation des résultats de classification avec les cartes phyto-sociologiques, des photographies aériennes et des relevés sur le terrain, a souligné l'importance des paramètres liés à la physiologie du couvert dans la réponse spectrale de la végétation. Les descripteurs physiologiques déterminants sont : la composition floristique (espèces dominantes et proportions relatives de ligneux et d'herbacées), la structure verticale, la biomasse chlorophyllienne et le taux de recouvrement (CHERPEAU, 1992 ; JACQUEMINET & THEBAUD, 2000).

## Méthodologie du suivi des couverts végétaux entre 1998 et 2005

La carte de 1998 est construite par croisement des deux cartes extraites en 1997 et 1998. La confrontation des deux images met en évidence les changements qui affectent le couvert végétal et notamment les effets de la fauche et du pâturage sur les peuplements herbacés. Sa nomenclature est plus riche que celle de 2005. Pour réaliser le suivi, la nomenclature de la carte de 1998 est réduite aux neuf catégories de la carte de 2005. La superposition des deux cartes de végétation de 1998 et 2005 permet d'analyser pour chaque pixel son affectation à chaque date.

80 % des pixels de 1998 classés en « Conifères » se retrouvent dans la même catégorie en 2005. Les classes « Conifères et feuillus » et « Feuillus » indiquent une stabilité entre 52 et 60 %, les landes (« Landes basses » et « Landes mixtes ») se maintiennent à 66 – 70 % et les pelouses (« Herbacées hautes » et « Herbacées basses ») entre 61 et 70 %. (ETLICHER & JACQUEMINET, 2006). Cette variation importante en 7 ans, reflète d'une part des évolutions du tapis végétal mais aussi, l'empreinte des pratiques pastorales et les biais liés à la comparaison d'images de date, résolution et géométrie différentes.

Le rôle joué par les pratiques pastorales intervient sur les classes de landes, de pelouses et sur la classe « Sol nu ». Il est particulièrement perceptible pour la classe « Herbacées basses ». Cette classe désigne les pelouses où les herbacées sont rases car fauchées ou pâturées ainsi que les pelouses envahies par le nard peu chlorophyllien. Si l'on prend en compte : la réalisation ou l'absence de fauche ou de pâturage qui conduisent à une réponse différente de la végétation ; la date d'enregistrement des images qui varie entre 1998 et 2005 et la différence de réalisation des cartes entre 1998 et 2005, cette faible valeur de similarité révèle avant tout l'état très changeant de ces pelouses. Ces changements ne reflètent pas en réalité une modification du milieu ou du système d'exploitation entre les deux dates.

La comparaison des deux cartes est entachée de biais liés aux images elles-mêmes. La différence de résolution entre les images génère un biais dans cette comparaison de pixel à pixel. Les limites des entités sont plus précises en 2005 (résolution à 10 m) qu'en 1998 (résolution à 20 m). Même si elles n'ont pas bougé entre les deux dates, elles ne peuvent se superposer exactement. Ces effets de limites sont d'autant plus marqués que les entités sont fragmentées spatialement. On remarque

que la classe « Forêt de conifères » d'une grande contiguïté spatiale présente une valeur de similarité élevée entre les deux dates.

Le géoréférencement des images introduit également un biais. Malgré tout le soin apporté à la correction géométrique des images, lors de leur superposition, des décalages sont inévitables, surtout dans les secteurs à forte pente où un glissement de quelques mètres en projection peut

conduire à des décalages d'un ou plusieurs pixels. Ce décalage est d'autant plus sensible que beaucoup de zones de progression forestière se font sur les zones à forte pente précisément.

C'est donc avec précaution que nous interprétons ces valeurs chiffrées de l'évolution du tapis végétal qui s'exerce sur une période relativement courte de 7 ans. L'examen de la répartition spatiale des pixels sur l'image des changements (fig. 1),

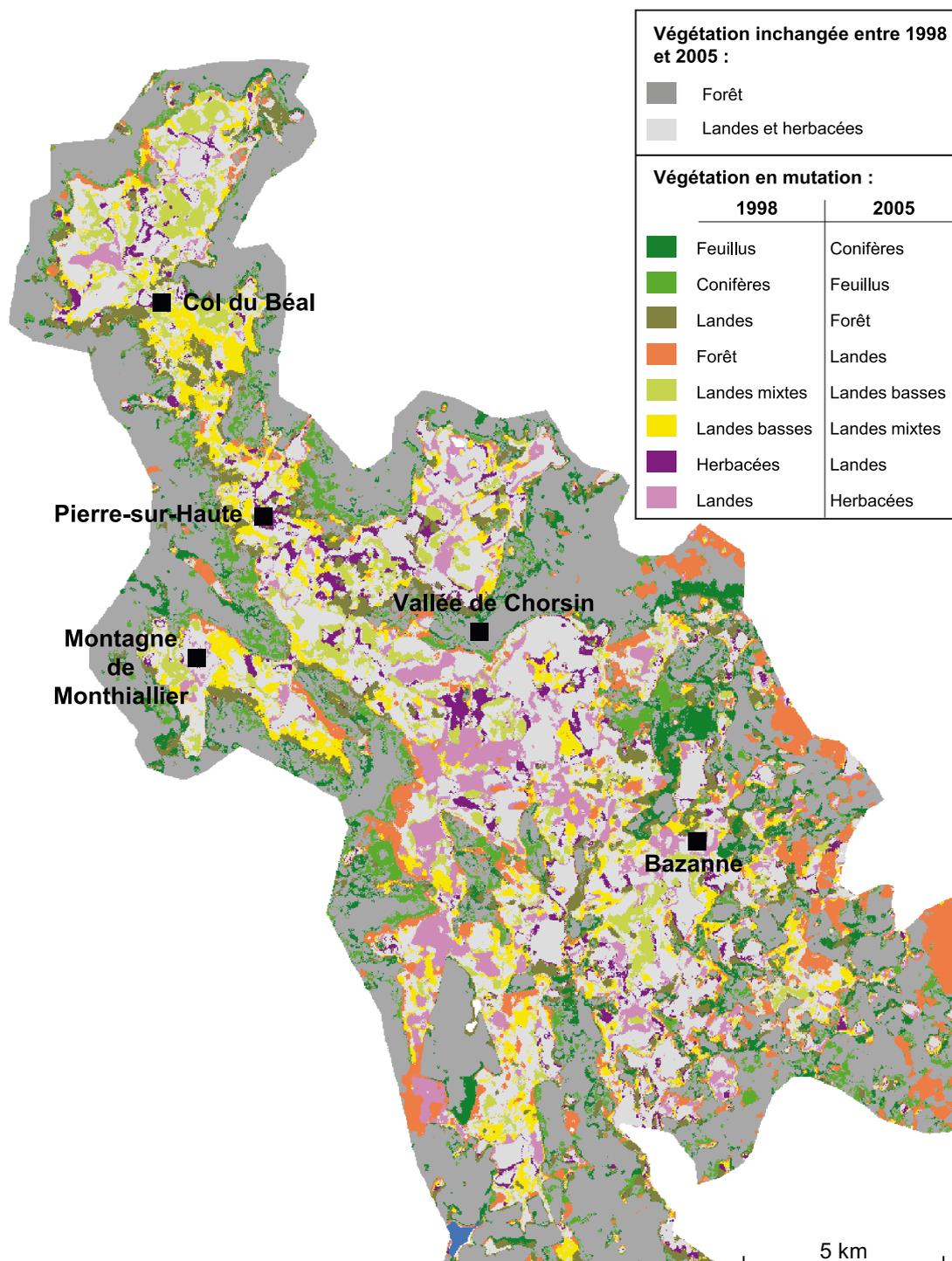


Figure 1 : Carte de synthèse des principales évolutions du couvert végétal réalisée à l'aide des images Spot 4 du 11/09/1997 et 06/07/1998 et d'une image Spot 5 du 27/07/2005.

permet de distinguer parmi les changements d'affectation des pixels entre les deux dates, les évolutions notables et les biais liés à la comparaison des deux cartes. C'est à l'aide de cette carte, que nous procédons à l'étude des changements et nous nous garderons de mesurer des superficies, un chiffre exprimé en hectares pouvant laisser croire à une précision illusoire.

## Évolution du tapis végétal

La confrontation des cartes extraites aux deux dates montre globalement une évolution vers la fermeture dans la partie nord des Hautes-Chaumes plus élevée et une évolution vers l'ouverture au sud. La moitié Nord est dominée par l'envahissement des ligneux (en vert, fig. 1) ; la moitié Sud connaît un regain des landes et pelouses sur les ligneux (en orange et jaune, fig. 1). L'examen des mutations montre que les changements d'une classe se font majoritairement vers les classes physiologiquement proches : les mutations des classes de forêts se font vers les autres classes de forêts ou vers les landes. Celles des classes de landes et d'herbacées se font vers les autres classes des mêmes taxons. Les gains des formations ouvertes sur la forêt se font depuis les landes basses.

L'analyse spatiale de ces changements permet de saisir les modes d'évolution propres à chaque formation végétale.

Dans le cas de la forêt, globalement, la comparaison des deux cartes montre une stagnation, voire une très légère décroissance des superficies couvertes (le pourcentage de pixels classés dans cette formation décroît d'un peu moins de 2% entre les deux dates). Les disparitions de la forêt se font au profit de la lande dans des trouées internes à la forêt, dispersées et à basse altitude, résultant d'un défrichement, de chablis ou de coupes. Les trouées liées aux tempêtes de Lothar et Martin de 1999 sont particulièrement perceptibles sur les flancs sud des Hautes-Chaumes (en orange, fig. 1). Une reconquête de la forêt dans des clairières est également visible mais elle affecte des surfaces restreintes.

Inversement, les extensions de la forêt se manifestent majoritairement sur les lisières forestières de l'ensemble du massif. Leur ampleur est variable, mais on assiste clairement à une remontée de la limite supérieure de cette ceinture. Ces extensions sont le fait à la fois d'espèces de feuillus colonisatrices - les éboulis au nord de Pierre-sur-Haute sont envahis par une végétation arbustive à base de sorbiers - et celui d'une progression des

conifères (Pin sylvestre) en tâche d'huile à partir des massifs ou bosquets de résineux.

Ce suivi multitemporel met également en évidence des mutations internes au sein des peuplements forestiers liés à la croissance des individus, notamment celles des résineux dont le recouvrement devient majoritaire dans certains peuplements, ce qui explique le glissement des valeurs de classe des pixels, entre les classes de « Feuillus » vers les classes de « Conifères ». Cet effet est sensible sur les plantations de résineux arrivées à maturité qui en 2005, ont une réponse spectrale de type « conifères » alors qu'en 1998, en raison du sous-bois couvrant, elles se confondaient avec la classe « Conifères et feuillus ».

Les classes de « Landes » ont un pourcentage de stabilité de l'ordre de 70 %. Le retour vers la forêt est sensible : 21 % depuis les landes basses. En revanche il est très faible depuis les landes mixtes. Ce retour se fait sur les lisières et vers les feuillus pour les ¾. Cette évolution corrobore l'avancée des sorbiers observée sur le terrain, qu'il s'agisse de conquêtes nouvelles ou, plus vraisemblablement, d'une densification de la canopée par les sorbiers qui n'avaient pas été détectés spectralement en 1998. Ce recul des "landes", localement entrecoupé d'avancées inverses des "landes" sur la forêt, s'exerce majoritairement dans la partie nord.

L'avancée des "landes" au détriment de la forêt affecte principalement la moitié sud des Hautes-Chaumes, au sud d'une ligne joignant la vallée de Chorsin à la montagne de Monthiallier (fig. 1). Les "landes" progressent en lisière de forêt. Elles se substituent aux forêts également parmi les reboisements en timbre-poste du SE, sous la forme de tâches plus ou moins géométriques traduisant des coupes ou des clairières recolonisées. De nombreuses trouées envahies par les framboisiers, les fougères, les épilobes apparaissent dans la base des Habitats du CREN qui confortent cette interprétation sur le versant oriental (CREN Rhône-Alpes, 2006).

L'analyse des changements internes des classes de "landes" permet de percevoir la densification des ligneux bas au sein des landes ou au contraire le développement des herbacées. Ces deux tendances coexistent sur l'ensemble du massif. Cependant, le secteur situé au nord du col du Béal, est affecté par une prédominance du développement des ligneux bas au sein des landes alors que la partie sud-est du massif, est dominée par une évolution inverse. Ce regain des herbacées est également attesté, dans ce même secteur SE, par le changement d'affectation de pixels classés en landes en 1998 et devenus herbacés en 2005 (fig. 1).

## Facteurs naturels et impact des pratiques pastorales

Entre l'étage montagnard et l'étage subalpin, le paramètre topographique qui détermine l'ambiance climatique, joue un rôle important sur l'évolution des couverts. C'est entre 1250 et 1370 m que les gains forestiers sont les plus importants, mais il faut noter qu'entre 1370 et 1510 m, même à ces altitudes, qui sont à la limite de l'étage subalpin (THÉBAUD 2004), la dynamique est significative. Au-delà, la décroissance est progressive traduisant peut-être une limite écologique. En revanche, on constate assez clairement que les altitudes les plus basses (1200-1260 m) sont moins affectées par cette dynamique.

Le constat immédiat à la lecture de la carte est le contraste entre la partie haute, au-dessus de 1450 m et la partie plus basse. La lande subalpine est plutôt le domaine d'un retour vers la forêt, la lande montagnarde, plutôt celui d'un retour à la pelouse.

L'origine de cette opposition est bien évidemment à rechercher dans l'effet des pratiques pastorales : une intensification caractérise les parties basses qui se traduit par des remises en état de pâturages, des améliorations de lande etc. qui conduisent à une régression des landes basses au profit de landes mixtes et de pelouses. Au contraire, au-dessus de 1450 m, c'est davantage la dynamique naturelle suite à l'abandon qui prévaut. Cette remarque générale doit être fortement nuancée, car deux secteurs à basse altitude du département de la Loire échappent à cette intensification, le sud est au-delà de Bazanne, et, dans une moindre mesure le nord est extrême (ETLICHER & JACQUEMINET, 2006).

## Conclusion

L'imagerie satellite, même à une résolution décimétrique, est un outil de perception des états du couvert végétal et de ses changements pertinent. L'information échantillonnée sur la base du pixel renseigne sur ses moindres nuances. La reconnaissance des caractéristiques physiologiques de la végétation s'avère bien appropriée pour suivre le développement des ligneux hauts et bas au sein des formations de landes et pelouses. Le suivi a été réalisé à partir d'une typologie en 9 classes. Cette dernière, pourrait être enrichie par l'utilisation de deux images enregistrées à deux saisons différentes, comme cela a été fait pour 1998. L'utilisation de deux dates permet d'une part, une auto-validation des classes distinguées à chaque date et, d'autre part, d'identifier plus précisément les impacts des pratiques pastorales liés à la fauche et au pâturage sur les formations basses.

## Bibliographie

- CHERPEAU A. 1992. - *Télé-détection et agro-écologie, un essai de cartographie destinée à la gestion des milieux herbacés de haute montagne. Application au Parc national des Ecrins*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble I, France, 230 p.
- CREN Rhône-Alpes, 2006, *Cartes au 1/25 000 de la végétation du site Natura 2000 « Hautes Chaumes du Forez »* FR8201756 (mars 2006).
- ETLICHER B., JACQUEMINET Ch., 2006.- *Evolution du couvert végétal entre 1998 et 2005 d'après des images spot ; Hautes Chaumes du Forez : suivi scientifique*. Rapport inédit, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, 36p.
- JACQUEMINET C., THEBAUD G. 2000. - Caractérisation et suivi de formations de landes montagnardes à l'aide de l'information satellitale, in J.-M. Dubois, R. Caloz, p. Gagnon (eds), *La télé-détection en Francophonie : analyse critique et perspectives - Actes des VIIIe journées scientifiques de Lausanne 1999*. Edit. Agence Universitaire de la Francophonie, Sherbrooke, 379-384.
- THEBAUD G. 1988. - *Le Haut-Forez et ses milieux naturels : apports de l'analyse phytosociologique pour la connaissance écologique et géographique d'une moyenne montagne cristalline subalpine*. Thèse d'Etat Sciences naturelles, Université de Clermont Ferrand II, France, 330 p.
- THÉBAUD G., 2004. - Les sommets subalpins de Pierre-sur-Haute. *Journal de Botanique*, n° 26, 25-29.

