
PAYSAGE DE MONTAGNE ET TELEDETECTION

INTEGRATION DES OUTILS GEOMATIQUES ET DES DONNEES NUMERIQUES A L'ETUDE DU PAYSAGE D'ESTIVE (APPLICATION AUX PYRENEES)

Muriel Harguindéguy

Société, Environnement, Territoire, CNRS, UMR 5603

Université de Pau et des pays de l'Adour, 64 000 Pau

muriel.harguindeguy@univ-pau.fr

RÉSUMÉ. Dans les Pyrénées les estives sont les pâturages d'altitude. Espaces sensibles, en pleine mutation, convoités et enjeux d'une économie fragile, elles font l'objet d'une attention particulière. Dans cette optique une connaissance exhaustive de ces milieux est plus que jamais nécessaire afin de réaliser des diagnostics pertinents. Ceux-ci impliquent de disposer de cartographies des milieux sur de grandes superficies. L'acquisition de cette information peut être facilitée par l'utilisation de la télédétection, elle permet de produire une cartographie thématique de l'occupation du sol dans une perspective appliquée (cartographies des valeurs pastorales, charge animale potentielle...).

Notre objectif est de proposer une réflexion méthodologique afin d'utiliser l'information radiométrique (SPOT XS-P) et topographiques (MNT et données dérivées) pour cartographier - en termes de probabilités - des classes de paysages et les éléments qui les caractérisent. Elle est fondée sur la création d'une typologie issue d'une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) réalisées à partir d'observations fines de terrain (approche comparable à celle des phytosociologues). C'est une démarche totalement différente de celle des classifications supervisées "classiques". Pour simplifier, les informations radiométrique et topographique sont utilisées afin de spatialiser (dans le sens de couvrir de manière continue) des données observées ponctuellement dont la résolution est inférieure à celle des pixels.

MOTS-CLÉS : *Cartographie, échantillonnage spatial, pâturage d'altitude, pastoralisme, occupation du sol, télédétection, analyse multivariée, modèle numérique de terrain, SIG.*

ABSTRACT . In Pyrenees the "estives" are the high slopes. Sensitive spaces, in full transfer, desired and stakes in a fragile economy, they are the object of a particular attention.

In this optics, an exhaustive knowledge of these circles is ever necessary more than ever to realize relevant diagnoses. These imply to have cartographies of the circles on large surfaces.

The acquisition of this information can be facilitated by the use of the remote sensing; it allows producing a thematic cartography of land use in an applied perspective (cartographies of the pastoral values, animal potential charges). Our goal is to propose a method to use the radiometric information (SPOT XS-P) and topographic (Digital Terrain Model) to map - in terms of probability - classes of landscapes and elements which characterize them. It is based on the creation of a typology stemming from a Factorial Analysis of the Correspondences and a Hierarchical Ascending Classification applied to fine observations of ground.

The radiometric and topographic information is used to cartography (*i.e.* to create a continuous coverage with) punctual data, which resolution is lower than that the resolution of a pixel.

KEY WORDS: *cartography, spatial sampling, high slopes, pastoralism, remote sensing, statistic analysis, digital elevation model, GIS.*

Introduction

Dans les Pyrénées-Atlantiques, le pastoralisme reste une activité primordiale pour le système montagnard. Il joue un rôle écologique en raison de son action sur le milieu (maintien de milieux ouverts, protection contre les avalanches, impact sur la chaîne trophique) mais il est aussi et surtout un facteur de maintien de vie en montagne donc de développement durable des vallées. De ce fait, les estives font l'objet d'une attention particulière qui se traduit par la mise en place de nombreux plans de gestion (valorisation, protection) et d'aménagements (pistes de desserte, normes européennes pour la production de fromage...) qui ne peuvent être envisagés sans une bonne connaissance de leurs potentiels. Cette connaissance est primordiale d'autant plus que les conflits environnementaux sont importants dans ces vallées où l'ours brun demeure encore.

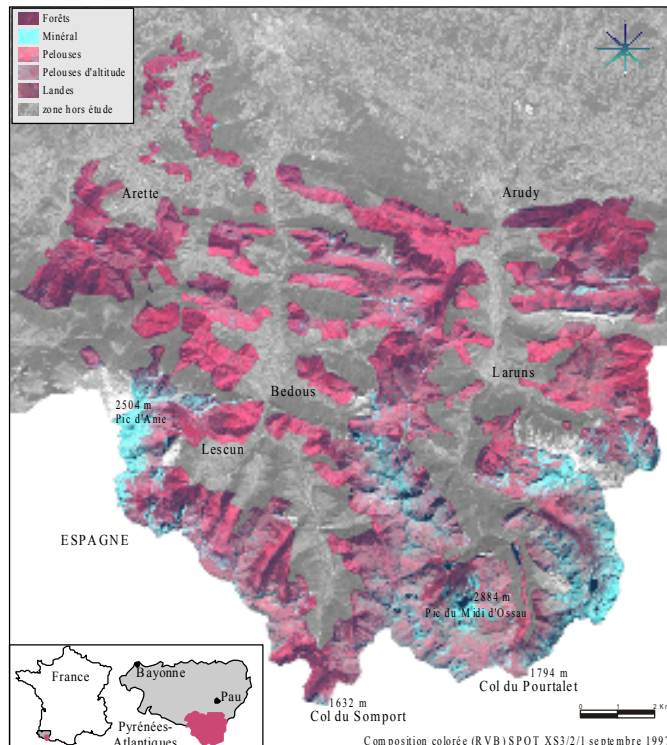
Disposer d'informations relatives à la gestion des risques naturels et des espaces pastoraux suppose d'avoir accès à des données précises et à jour sur de vastes superficies. Ces deux contraintes sont souvent antinomiques. Les statistiques agricoles existantes sur l'ensemble des estives béarnaises (102 287 hectares, 185 estives) sont trop approximatives voire erronées ; *a contrario* certains travaux offrent une description très fine de la composition végétale, mais uniquement valable pour un site d'observation (quelques estives).

Nous proposons ici une méthode d'analyse des estives, fondée sur la géomatique et l'analyse statistique, afin de disposer d'informations qui assurent à la fois une couverture synoptique et une description détaillée des paysages.

L'aire d'étude et les données

La zone d'étude concerne les pâturages où les troupeaux transhument saisonnièrement, soit 185 estives¹. Ces estives se localisent sur la partie occidentale de la chaîne pyrénéenne, à différentes altitudes, de 300 à 2 974 m, mais la moitié se situe à une altitude moyenne supérieure à 1 400 m. Les contrastes de pente sont nombreux, les faciès topographiques ainsi que les types de végétation qui leurs sont associés sont variés et concernent tous les étages de végétation seul l'étage nival y est résiduel. Les zones rocheuses et forestières sont exclues de l'aire d'étude, seuls les groupements de pelouses et de landes ont fait l'objet de relevés.

Figure 1 Localisation et présentation de l'aire d'étude



¹ Elles sont le plus souvent propriétés collectives des communes ou de syndicats de vallées auxquels les éleveurs paient un loyer appelé « bacade » calculée à partir du nombre d'animaux et de la provenance de l'éleveur.

- *Les données numériques*

Un couple d'images SPOT XS et P du début du mois de septembre 1997 est retenu. Les images sont orthorectifiées et les canaux XS et P sont combinés selon une transformation RVB-HSI-RVB. La base de données est donc constituée de canaux P, XS1, XS2, XS3, XSP1, XSP2, XSP3 (d'une résolution de 10 mètres).

Du Modèle Numérique de Terrain, utilisé pour l'orthorectification, nous déduisons les variables de pente, d'orientation et de rayonnement global qui seront utilisées par la suite pour optimiser l'analyse d'image et les classifications issues des relevés de terrain.

L'ensemble de ces informations numériques constitue la banque de données, qui couvre de manière continue l'espace géographique considéré. Elles nous serviront de support de spatialisation comme nous le verrons plus loin.

- *Les stations d'observations de la végétation*

Les points échantillonnés doivent être représentatifs de l'ensemble de l'espace, leur localisation résulte d'un échantillonnage par méthode des quotas (Laffly, Mercier, 1999), par stratification sur des critères topographiques et physiologiques. Ceci consiste à respecter des quotas de classes de paysages issues de la classification supervisée. Les points observés sont positionnés de manière à s'approcher de la masse relative des principaux ensembles paysagers en tenant compte des critères topographiques.

Les 400 points d'observation sont localisés précisément à l'aide d'un GPS différentiel (Brossard *et al.*, 1998) afin de permettre le croisement des données de terrain et des données numériques.

Le choix du protocole d'observation de la végétation résulte d'un compromis entre les objectifs recherchés, les outils utilisés et le temps imparti (l'observation ne peut se faire que dans la période de développement des espèces végétales, à savoir pendant la saison estivale). La végétation de chaque point d'observation est recensée au moyen de relevés linéaires selon la méthode des points quadrats² : 150 espèces végétales ont ainsi été inventoriées.

Méthodologie

La figure 2 présente les différentes étapes de la chaîne méthodologique mise en place. Dans un premier temps, une classification multicritère est réalisée à partir des données radiométriques et topographiques. L'association des topocomplexes et des signatures spectrales permet de produire une classification des postes d'occupation du sol tout en réduisant de manière significative les confusions thématiques. À ce stade de l'analyse, les classes d'occupation du sol sont identifiées sur des critères physiologiques des milieux et se limitent aux types de formations végétales dominantes (forêts, landes, pelouses...). Les sous types individualisés, en particulier pour les pelouses, ne permettent pas d'identifier la composition des espèces végétales. Cette étape de traitement permet de dresser un premier portrait des espaces considérés ainsi que le plan d'échantillonnage des points d'observation.

Dans un second temps, une Analyse Factorielle des Correspondances et une Classification Ascendante Hiérarchique sont réalisées sur les 400 relevés de terrain afin de mettre en évidence une typologie des faciès de végétation présents sur les pâturages d'altitude.

Le contenu des catégories de végétation issues de la CAH est visualisé à partir du profil de chaque classe sur les espèces végétales (fréquence d'apparition de celles-ci). Ce type de profil permet de mettre en évidence la dispersion des caractères (espèces végétales) sur les différentes classes (groupement végétal). Les profils de variables des classes servent ensuite de modèle de probabilité empirique (Brossard, 1991).

Les données images et les tables de probabilités calculées sont mises en relation afin de produire des cartes détaillées des estives. Plutôt que de réaliser un simple croisement des typologies dans une matrice de confusions (ventilation des classes de végétation, issues du terrain, sur les classes d'occupations du sol, issues des images) nous préférons étendre le modèle de probabilités bayésien. Il est alors possible de produire des cartes de probabilités d'appartenir à chaque classe et des cartes de probabilité d'apparition des différentes variables pour chaque pixel.

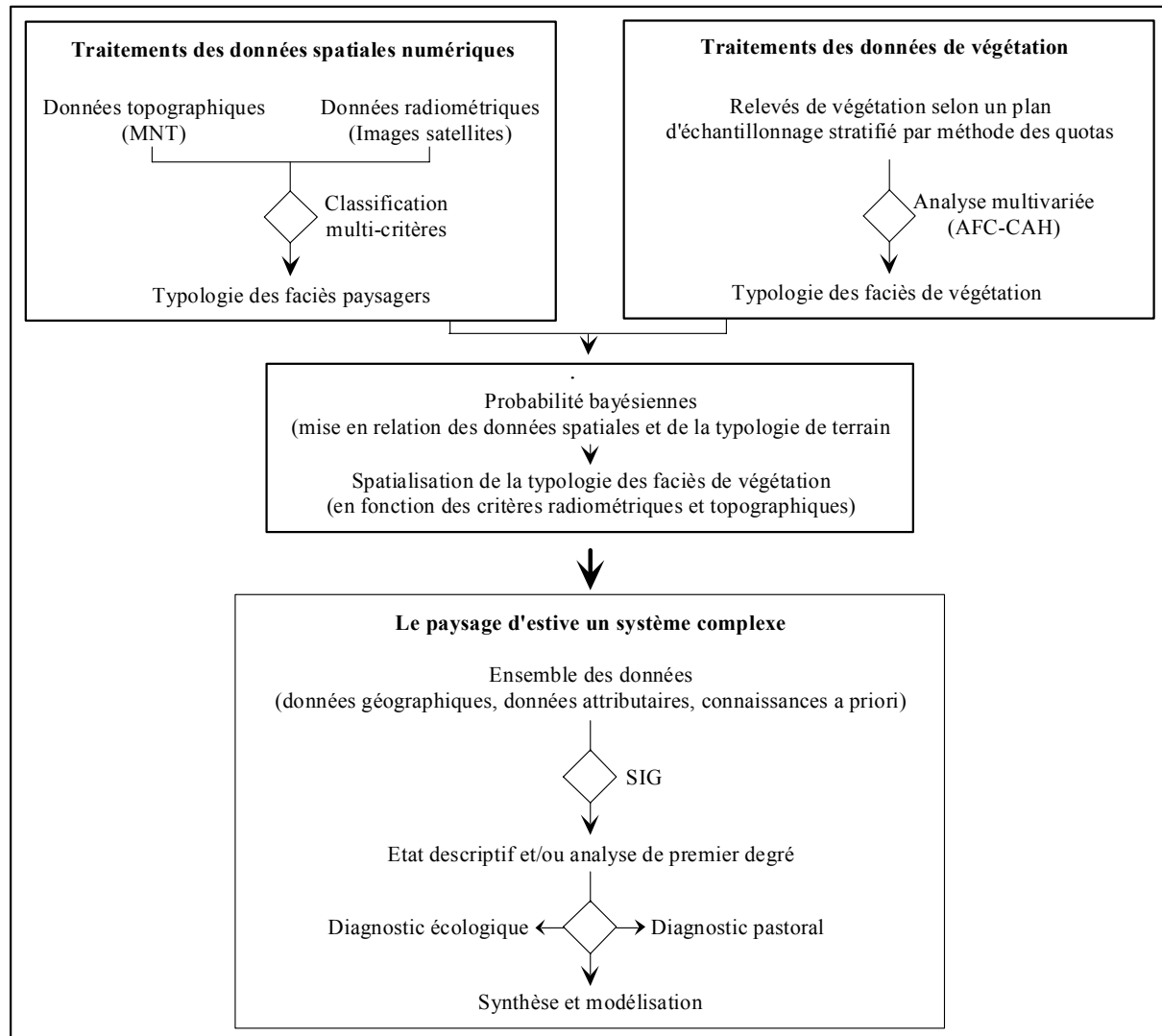
Ces données

Les données acquises par cette méthode sont intégrées à d'autres composants afin d'élaborer un schéma global de l'organisation actuelle des vallées béarnaises dans l'optique d'un développement soutenable. Plusieurs entrées sont possibles et seront testées : historique, politique, environnementale... Nous voulons ainsi comprendre

² C'est une technique de description quantitative fondée sur un sondage par points répartis de manière linéaire sur un secteur jugé uniforme et représentatif de la station à caractériser. Le long d'un transect de 20 mètres, une tige est plantée perpendiculairement au sol tous les 40 cm, en chaque point les espèces végétales touchant la tige sont notées. L'information retenue est de type présence par point, c'est-à-dire que chaque espèce rencontrée ne peut être citée qu'une fois par point de contact.

quelles sont les relations qui existent entre les principaux éléments présidant à l'organisation des vallées béarnaises et le rôle de l'information géographique dans un contexte aussi conflictuel.

Figure 2 : Les principes de la chaîne méthodologique

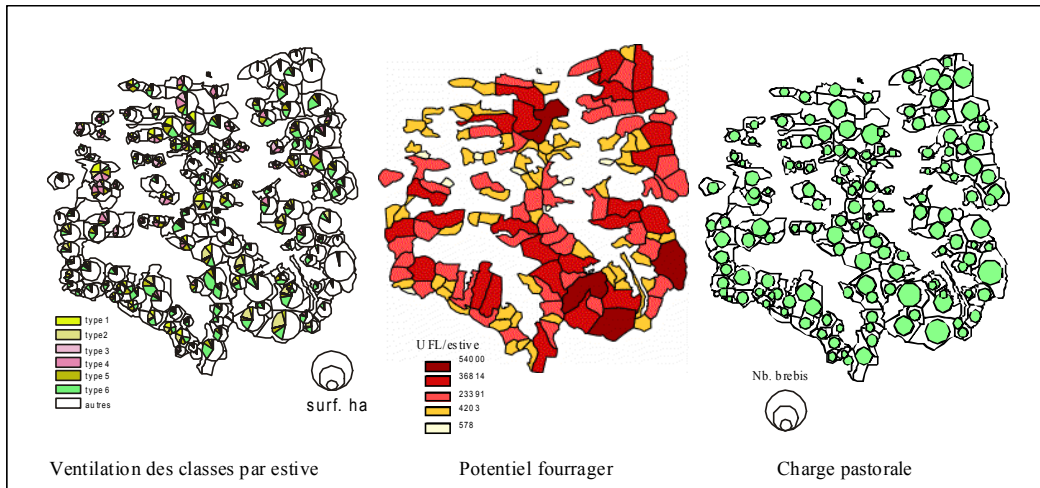


Résultats et discussion

L'échelle d'analyse choisie autorise la réalisation de cartographies pastorales détaillées, c'est-à-dire l'interprétation des données en termes d'aptitudes et de contraintes tant, vis-à-vis des exigences du pastoralisme, qu'en fonction de la sensibilité écologique au pâturage. Ce diagnostic est fondé sur la notion de valeur pastorale qui est une mesure d'énergie calculée à partir des indices spécifiques énergétiques qui sont associés à la nature de la végétation. Cette valeur pastorale (VP) combinée avec des mesures de production végétale (quantité de matière sèche par hectare) permet d'évaluer le potentiel fourragère des surfaces, exprimé en Unité Fourragère Laitière ou UFL qui équivaut à la quantité d'énergie libérée par la consommation d'un kilo d'orge. Un UGB correspond à un animal dont les besoins énergétiques annuels représentent 3 000 unités fourragères. En fonction de ces critères on obtient les couvertures des potentialités pastorales et des modes de pâturage souhaitables (figure 3).

Au-delà des cartographies pastorales, cette démarche permet de mieux comprendre le rôle des facteurs abiotiques dans l'agencement des formations végétales. La végétation devient alors un indicateur du milieu et inversement. Ainsi il est possible de réaliser des diagnostics "écologiques" dans le sens où les postes d'occupation du sol (les classes) deviennent explicites au regard de certaines caractéristiques abiotiques. Il est alors possible de rechercher ce qui n'est pas directement visible à partir de déductions issues de l'analyse du contenu des classes.

Figure 3 : Diagnostic pastoral des estives



Cependant cette méthode est parfois limitée de par les caractéristiques des milieux considérés et celles des données utilisées pour généraliser la spatialisation. Par définition, les estives sont des pâturages essentiellement constitués de graminées et bien souvent on ne rencontre que quelques espèces dominantes. Par conséquent, les signatures spectrales diffèrent peu alors même que ces dernières permettent la spatialisation en tant que variables supplémentaires dans les résultats de l'AFC et de la CAH. C'est pourquoi, si pour certaines classes le pouvoir discriminant est fort (donc le modèle est bon), pour d'autres les probabilités d'apparition dans les différentes classes sont faibles et le modèle ne permet pas une identification solide.

Par ailleurs, l'organisation en mosaïque des formations végétales en montagne, du fait de l'imbrication fréquente du minéral, de la végétation herbacée et des landes, rend d'autant plus délicat l'identification de certaines zones. Pour certains groupements, le contenu des classes reste flou et les probabilités trop faibles pour en déduire un contenu fiable au regard d'un type de groupement végétal, mais cela permet de mettre en évidence les zones qui devront faire l'objet d'une campagne de terrain plus précise.

Conclusion

Cette méthode qui couple à la fois données spatialisées (radiométrie, topographie) et données ponctuelles (relevés de terrain sur les espèces végétales) s'exprimant en terme de distribution des probabilités permet de réduire les contraintes liées à la résolution des images par l'augmentation de la description du contenu des pixels.

Au-delà des limites soulevées plus haut, retenons que cette démarche répond en grande partie au besoin de fournir sur l'ensemble de l'espace un bilan de la composition végétale des estives.

L'utilisation d'images à très hautes résolution spatiale et thématique telles que celles fournies par SPOT 5, par exemple, permettra sans doute d'affiner les résultats, de même que l'utilisation d'un couple diachronique de la même année – une image au printemps, une autre de début juillet – assurera un pouvoir discriminant plus fort des types de pelouses à des stades végétatifs différents.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERNARD-BRUNET J., DUBOST M., BORNARD A., 1989, Utilisation de la télédétection spatiale pour la discrimination des surfaces pastorales d'altitude, *SFPT*, n°115, p. 59-61.
- BROSSARD T., 1991, *Pratique des paysages en baie du roi et sa région (Svalbard)*, Thèse d'Etat, EHESS, Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté, n°428, Diffusion les Belles Lettres, Paris, 397p.
- BROSSARD T., JOLY D., 1994, Probability models, remote sensing and field observation : test for mapping some plant distributions of the Krossfjord area, Svalbard, *Polar research*, 13, p. 153-161.
- BROSSARD T. *et al.*, 1998, Le GPS comme source de données géographiques à grande échelle, *L'espace géographique*, n°1, p.23-30.
- BROSSARD TH., ELVEBAKK A., JOLY D., NILSEN L., 1999, "Monitoring and mapping of arctic vegetation; Evaluating a method coupling numerical classification of vegetation data with SPOT satellite data in a probability model ". *International Journal of Remote Sensing*, vol.20, NO 15&16, 2947-2977.
- CHERPEAU A., 1996, *Télédétection et agroécologie, 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, sous la direction de G. Patou, 209p.
- CHEYLAN J.P., 2001, Evolutions de l'occupation des sols en hautes garrigues viticoles et périurbaines de l'Hérault. In *Actes du Colloque international CNRS « Dynamique rurale, environnement et stratégies spatiales »*, 13 et 14 septembre 2001, Montpellier, France (à paraître).
- CLASTRE P. *et al.*, 2001, Estimation des productions fourragères, interpolation et spatialisation de données, Actes des « *Journées Cassini 2001, Géomatique et espace rural* », CIRAD Montpellier, p.165-176.
- DAGET P., POISSONNET J., 1969, *Analyse phytologique des prairies, applications agronomiques*. CNRS-CEPE, Montpellier, 58p.
- HARGUINDEGUY M., 1999, *Paysages d'estives : proposition d'une méthode d'analyse appuyée sur la télédétection (application aux vallées béarnaises)*, DEA de géographie, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 150p.
- HARGUINDEGUY M., LAFFLY D., 2000, Remote sensing and pastoral diagnosis: from images to synthesis maps, « *11^{ème} colloque européen de géographie théorique et quantitative* », Durham, 3-7 septembre 1999.
- HARGUINDEGUY M., 2001, Paysages d'estives : de la télédétection à la cartographie de synthèse, *Actes du colloque Théo Quant*, Besançon, février 1999, Presses Universitaires Franc-Comtoises, p.191-198.
- LAFFLY D., 1995, *Evolution et potentiel de l'espace comtois : recherche de méthodes par la télédétection*. Thèse de doctorat, Besançon, 376p.
- LAFFLY D., MERCIER D., 1999, Réflexions méthodologiques sur les observations de terrain et la télédétection. *Photo-interprétation*, n°1999/2, p.15-24.