

PARTIE II

L'APPORT DE LA TELEDETECTION ET DES SIG POUR LA CARTOGRAPHIE DES HABITATS PASTORAUX

INTRODUCTION

La deuxième partie de ce rapport présente ma participation aux différents travaux de télédétection réalisés sur une partie du Parc National du Mercantour, dans le cadre d'EON 2000+.

Le Cemagref de Grenoble a en charge la réalisation d'une cartographie physionomique des végétations d'altitude par télédétection satellitale. Cette cartographie repose sur une méthodologie développée dans les différents massifs des Alpes et des Pyrénées (BERNARD-BRUNET et al, 1999 ; BERNARD-BRUNET et al, 1999 ; BERNARD-BRUNET et al, 2001) et sur des modèles agro-écologiques régionaux permettant :

- l'identification des différents faciès de végétation de l'espace supraforestier
- l'agrégation des différentes typologies allant des alliances au type physionomique.

Le Parc National du Mercantour a fait l'objet de nombreux travaux s'appuyant sur la télédétection satellitale et constitue ainsi un site test pour les problématiques se rapportant aux espaces naturels. Pour plus de détail on se référera aux études suivantes : CHAMIGNON C., 1988 ; CHAMIGNON et al, 1988 ; CHAMIGNON et MANIERE, 1990 ; MANIERE et al, 1984 ; GEOMEDITERRANEE, 2001.

La cartographie physionomique de la végétation que souhaite mettre en place le Cemagref constitue une première étape dans la localisation probable de certains faciès agro-écologiques. L'hypothèse est que les différents types physionomiques mis en évidence dans ces travaux regroupent un ensemble de faciès agro-écologiques connus qu'il est possible de discriminer grâce à différentes informations écologiques (nature du substrat, pente, exposition) gérées sous SIG. C'est cette discrimination qui doit permettre de remonter jusqu'à des niveaux de description rattachés aux alliances phytosociologiques retenues dans le cadre de Natura 2000. Ces résultats s'intégreront pleinement dans le programme EON 2000+ et constitueront pour le Parc National du Mercantour une alternative intéressante pour la cartographie des habitats naturels.

On notera que cette approche télédétection / SIG fait l'objet de travaux croissants. Plusieurs méthodologies ont déjà été élaborées pour permettre la localisation et la cartographie de certains habitats d'espèces avifaunistiques (LAFFLY D., 2000) ou pour l'inventaire de milieux naturels (COUDERCHET, 2000 ; HOERSCH et al, 2001, GUIBAN et al, 1998).

Dans le cadre de cette cartographie physionomique, ma contribution était de mettre en œuvre la méthodologie qu'a développée le Cemagref de Grenoble. Cette phase de travail a débuté début juillet et s'est appuyée essentiellement sur des données bibliographiques. L'objectif d'utiliser cette cartographie pour localiser certains types agro-écologiques a nécessité de limiter le temps consacré à ces traitements. Les résultats présentés ne sont donc que partiels et seront améliorés au fur et à mesure de l'enrichissement des données issues des campagnes de terrain, dans le cadre du programme EON 2000+.

Dans cette partie, on présente d'abord le modèle agro-écologique et la méthodologie générale utilisée pour les traitements télédétection. Cette présentation est basée sur un ensemble de citations permettant de cadrer ces différents points. Les premiers résultats des traitements physionomiques sont ensuite analysés. L'élaboration de cette première carte partielle a permis, par la suite, la mise en place de différentes phases pour la localisation probable de certains types agro-écologiques.

TYPOLOGIE ET CARTOGRAPHIE PHYSIONOMIQUE DE LA VEGETATION D'ALTITUDE PAR TELEDETECTION SATELLITALE : MISE EN ŒUVRE

1.16. LA TYPOLOGIE AGRO-ÉCOLOGIQUE DES FORMATIONS SUPRA-FORESTIÈRES PATURÉES DU MERCANTOUR

Depuis une vingtaine d'années, l'équipe "Agro-écologie" du Cemagref de Grenoble a mis en œuvre une méthodologie générale pour caractériser les formations pâturées de montagne par une démarche proprement agro-écologique, basée notamment sur des relevés quantifiés de végétation, la valeur pastorale des espèces végétales et la notion d'écofaciès⁷. C'est ainsi que des modèles agro-écologiques ont été établis pour de grands ensemble bio-géographiques de la montagne française (JOUGLET, 1992 ; COZIC, 1991 ; BORNARD et DUBOST, 1992 ; JOUGLET et COZIC, 1997).

1.16.1. Les facteurs écologiques intervenant dans la répartition de la végétation supraforestière

Les formations supraforestières pâturées du Mercantour sont constituées de l'ensemble des végétations situées au-dessus de 1800 mètres d'altitude, c'est à dire la totalité de l'étage alpin et le subalpin supérieur (JOUGLET, 1999). Dans ces altitudes ce sont essentiellement les facteurs abiotiques qui prévalent et déterminent la nature du tapis végétal. Les facteurs climatiques (enneigement et température) jouent un rôle déterminant. « *L'impact sur la végétation attribué aux facteurs enneigement et température, qui résultent eux-mêmes de la conjonction de facteurs d'altitude, exposition et géomorphologie, conduit à classer la végétation supraforestière en trois modes⁸ : nival, thermique et intermédiaire* » (JOUGLET, 1999).

D'autres facteurs abiotiques interviennent dans la répartition de la végétation :

- la nature de la roche mère,
- le type de sol,
- et le fonctionnement hydrique.
-

D'un point de vue pastoral, la productivité et l'appétence des pelouses varient suivant le mode où elles se situent. On peut constater les gradients suivants :

⁷ Ecofaciès (JOUGLET, 1999) : unité phytoécologique élémentaire homogène au plan de la composition quantitative du peuplement végétal (faciès de végétation) des caractéristiques écologiques stationnelles (altitude, exposition...) et du potentiel agronomique.

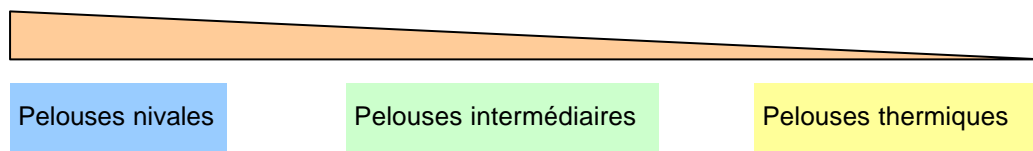
⁸ Définition des différents modes (JOUGLET, 1999)

Le **mode nival** occupe principalement les fonds de vallon, les combes et les replats de l'étage alpin où la durée de l'enneigement est supérieure à 7 mois.

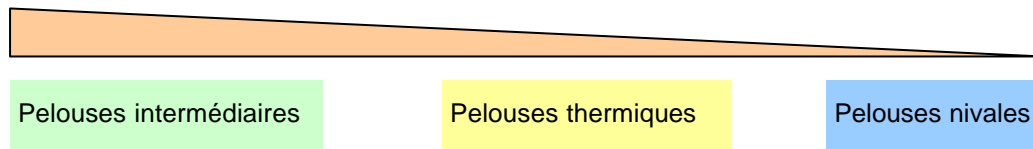
Le **mode thermique** occupe les pentes fortes et les crêtes faiblement enneigées et déneigées très tôt du subalpin à l'alpin. Elles sont exposées à la rigueur des températures en hivers et aux fortes chaleurs estivales. Durée d'enneigement inférieure à 5 mois.

Le **mode intermédiaire** occupe les pentes faibles et les replats situés dans l'alpin inférieur et surtout dans le subalpin. Durée d'enneigement de 5 à 7 mois.

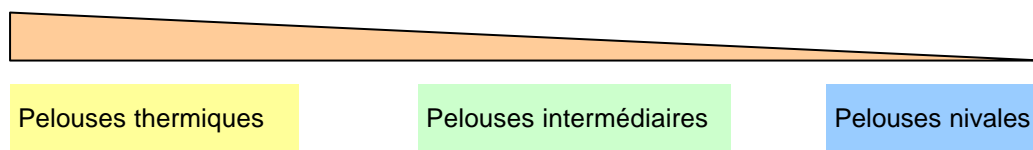
Gradient d'appétence



Gradient de biomasse fourragère



Gradient de la précocité des ressources fourragères



1.16.2. La typologie agro-écologique des Alpes du sud

Un modèle agro-écologique a été élaboré à partir de données phyto-écologiques recueillies sur différents alpages des Alpes du Sud (JOUGLET, 1999). Dans sa version la plus complexes, ce modèle comporte 66 écofaciès répartis en sept catégories de formations végétales :

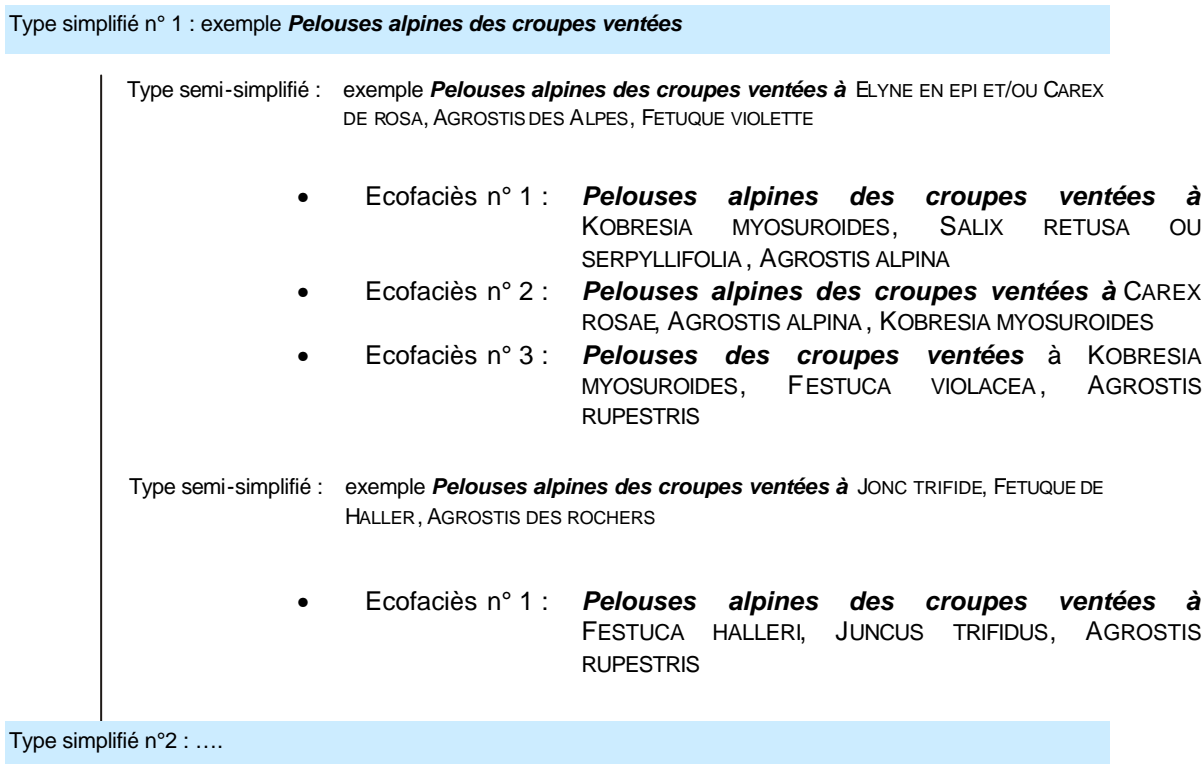
- Les pelouses de mode thermique,
- Les pelouses de mode intermédiaire,
- Les pelouses de mode nival,
- Les fruticées
- Les zones humides,
- Les reposoirs d'animaux,
- Les éboulis.

Par agrégations successives, Jouglet a établi des simplifications de cette typologie :

- une première simplification dite « typologie semi-simplifiée » qui comprend 46 faciès de végétation ;
- et une « typologie simplifiée » qui ne comprend plus que 26 types de végétations.

La figure n° 11 présente globalement les différents emboîtements depuis le niveau simplifié jusqu'aux écofaciès.

Figure 11 : Schéma d'organisation du modèle agro-écologique : du type simplifié aux écofaciès (JOUGLET, 1999)



1.17. TRAITEMENT TELEDETECTION

1.17.1. Passage du modèle de description agro-écologique à un modèle de nature physionomique : Rappels

« La cartographie classique de ces modèles, à l'échelle du 1/5 000, nécessite un fort investissement de terrain pour une seule unité pastorale, compte tenu du niveau complexe de l'organisation spatiale des types agroécologiques. C'est pourquoi l'équipe du Cemagref, dans un objectif d'inventaire spatialisé des milieux pastoraux d'altitude sur des étendues de plusieurs centaines de milliers d'hectares, a établi une méthodologie d'identification et de cartographie des grands types de végétation, basée sur leurs traits physionomiques et analysée sur l'imagerie satellitale à haute résolution spatiale » (CHERPEAU A., 1996).

Cette méthodologie repose sur une double approche :

- une approche agro-écologique fondée sur le modèle agro-écologique développé ci-dessus, et sur la simplification successive de ce modèle,
- une approche par la télédétection s'appuyant sur les techniques de traitements d'images.

« Les phénomènes analysables en télédétection dans les longueurs d'ondes choisies (visible, proche infrarouge, infrarouge moyen) sont principalement :

- la présence ou l'absence de végétation,
- les différentes strates de végétation,
- un gradient de phytomasse de matière chlorophyllienne,
- le taux de recouvrement au sol de la végétation et du minéral cailloux, rochers, sols nus,
- un phénomène d'ambiance (lié à la teneur en eau des milieux et de la végétation).

Ainsi les variables communes au modèle agro-écologique et à l'approche par télédétection sont trois descripteurs essentiels qui décrivent les milieux naturels sous l'angle de la physionomie de la végétation :

- la phytomasse chlorophyllienne,
- le recouvrement des différentes strates végétales et minérales,
- un caractère d'ambiance (régime hydrique lié à l'enneigement, l'ensoleillement, la topographie).

Ces critères, communs à l'approche agro-écologique, permettent de décrire les milieux supraforestiers sous l'aspect de la physionomie de la végétation. »

Cette application a permis l'élaboration d'un modèle physionomique de la végétation supraforestière et la classification en une quinzaine de types physionomiques des pixels qui composent l'image satellitale. Une correspondance a pu être établie entre les types physionomiques et les types simplifiés ([Annexe n° 8](#)).

Cette classification obtenue par télédétection permet d'obtenir une carte de zonage homogène de l'ensemble du territoire supraforestier d'étendue géographique importante.

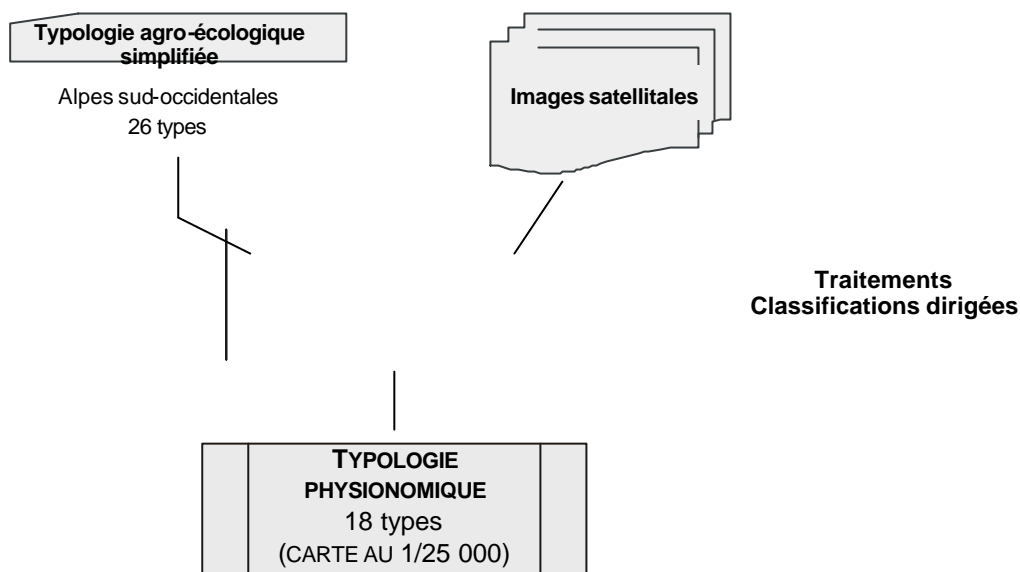


Figure 12 : Schéma général de la double approche pour construire la typologie physionomique du Parc National du Mercantour(BERNARD-BRUNET J., 2002)

1.17.2. Le traitement d'images : problématique et choix techniques (BERNARD-BRUNET J., 2000)

« L'ampleur de l'objectif et les phénomènes que l'on souhaite cartographier imposent de prendre en compte les contraintes suivantes, plus ou moins fortes selon les massifs :

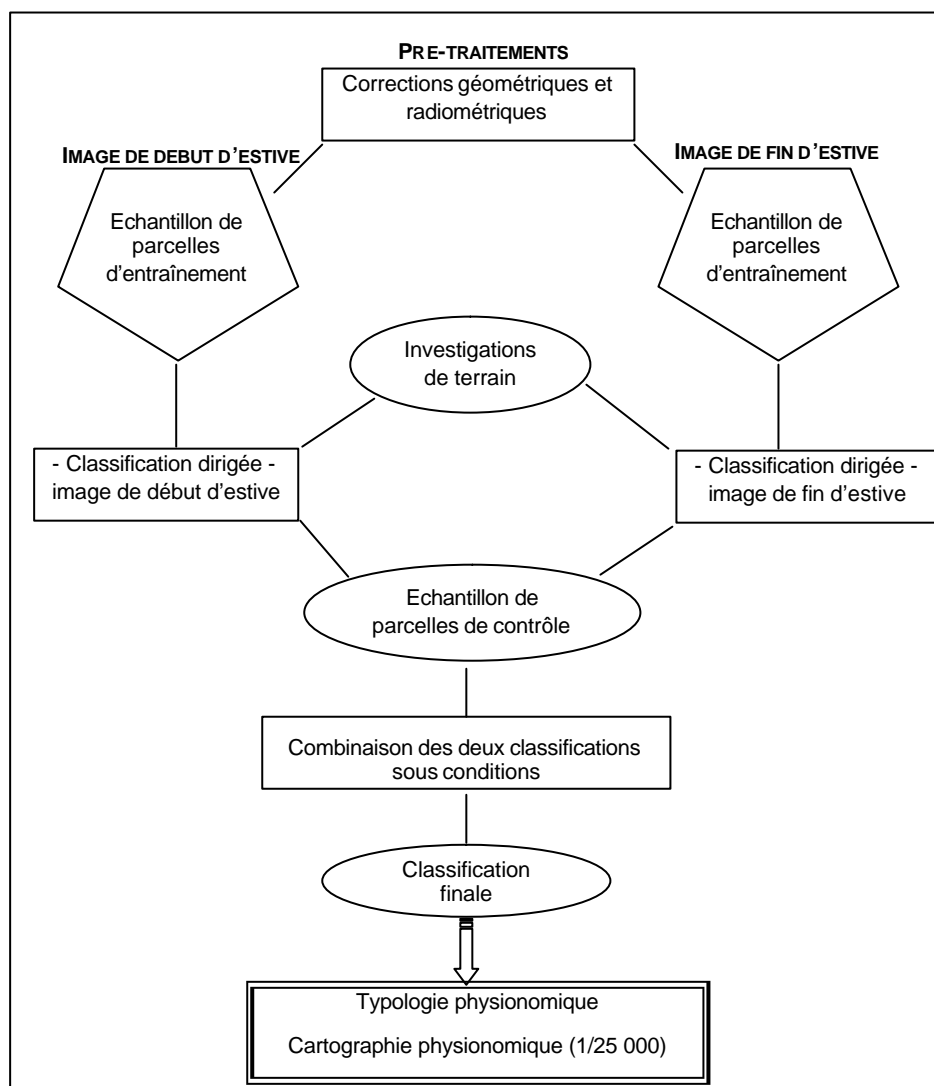
- Importance géographique des zones d'étude (dizaines à centaines de milliers d'ha) : elle implique une homogénéité importante des radiométries utilisées sur toute la zone. D'où le choix de l'imagerie satellitale plutôt que de l'imagerie aérienne.
- Importance du relief : elle nécessite d'effectuer certaines corrections radiométriques d'image, pour atténuer les effets perturbateurs du relief (exposition*pente) sur les réflectances.
- Importance du dénivelé : l'étagement de la végétation de 1500 à 2800 mètres fait qu'à une date donnée durant la saison d'estive correspondent des stades phénologiques très différents, durant une courte saison de végétation. D'où le choix d'analyser deux images correspondant à 2 dates différentes de la saison d'estive.

- Importance des prélèvements d'herbe par le pâturage : dans certains massifs, par exemple, les zones basses à bovins laitiers ou ovins laitiers sont pâturées précocement. Dans ce cas, il faut rechercher une image disponible de tout début de saison et effectuer un traitement multidate. »

1.17.3. Méthodologie du traitement

Les traitements mis en œuvre pour aboutir à la cartographie de la physionomie de la végétation sont indiqués dans la figure n° 13.

Figure 13 : Schéma des principales phases de traitement d'images satellitales
(BERNARD-BRUNET J., 2000)



Cette méthodologie nécessite au minimum deux images :

- une de début d'estive (début-mi juillet)
- et une de fin d'estive (fin août)

Mais certains traitements peuvent s'appuyer de 3 ou 4 images comme pour ceux réalisés actuellement dans les Pyrénées, par le Cemagref avec le Parc national des Pyrénées et la DDAF des Hautes-Pyrénées.

Pour la classification du Mercantour, la phase pré-traitement n'a pas été réalisée : les images mises à disposition pour cette cartographie ont déjà fait l'objet de corrections géométriques et radiométriques. Le détail de ces corrections nous a pas été transmis.

« La classification dirigée se fait sous l'hypothèse gaussienne (algorithme du « maximum de vraisemblance »). Ce choix permet de privilégier les connaissances de terrain. Schématiquement, il s'agit d'établir un algorithme de classification des x types physiologiques recherchés, à partir d'un échantillon de parcelles réparties sur toute la zone d'étude et dont on connaît bien les caractéristiques phyto-écologiques et physiologiques, grâce à des observations et des mesures sur le terrain.

Cette technique de classification est appliquée à chaque image de façon séparée. Pour cela deux échantillons de parcelles d'entraînements sont constitués et enrichis au fur et à mesure du déroulement de l'étude.

Après une validation de ces classifications par le biais de zones de contrôle, une combinaison sous conditions permet d'obtenir la classification finale aboutissant à la cartographie physiologique de la végétation. » (BERNARD-BRUNET J., 2000)

1.17.4. Les types physiologiques recherchés

En se fondant sur le taux de recouvrement et sur l'importance de la strate herbacée des 26 types simplifiés, des agrégations sont possibles afin d'obtenir les types physiologiques susceptibles d'être discriminés par le satellite (Tableau n° 6)

**Tableau 6 : La typologie physiologique des végétations d'alpages
(Alpes Sud-occidentales)
(JOUGLET, 1999)**

TYPES PHYSIologiques	Recouvrement (%)	Phytomasse herbacée (tonne ms/ha)	Potentiel fourrager (UFL/hectare)	Caractéristiques écologiques
Roc et éboulis stériles	< 10	0	≠ 0	Étage alpin (majoritairement) rocher en place ou éboulis grossiers non stabilisés
Eboulis peu colonisés	10 à 20	< 0,2	< 40	Étage alpin (majoritairement) altitude > 2500m - éléments souvent grossiers non stabilisés
Eboulis assez bien végétalisés	20 à 50	< 0,5	40 - 160	Étages subalpin et alpin - éléments fins stabilisés - sol rudimentaire
Formations herbacées avec minéral	50 à 70	0,3 à 1	280 - 420	Étages subalpin et alpin exposition et pente variables parfois microrelief accidenté (creux et bosses) sol peu profond et sec
Pelouses ouvertes en gradins	50 à 80	0,5 à 1,5	210 - 460	Étages subalpin et alpin - exposition variable à dominante Sud - pentes fortes (> 50 %) - sol sec - 20 à 50 % de sol nu, parfois présence de cailloux
Pelouses rases	70 à 90	< 0,5	350 - 510	* Étage alpin : dépressions et replats longtemps enneigés, exposition préférentielle Nord, sol profond et frais * Étage subalpin : pentes faibles ou moyennes - toutes expositions - sol plutôt sec
Pelouses de productivité médiocre (en phytomasse produite)	90 à 100	0,5 à 1	400 - 600	Étage alpin, parfois subalpin mode intermédiaire ou nival replats, pentes faibles ou bombements toutes expositions
Pelouses de productivité moyenne (en phytomasse produite)	90 à 100	1,5 à 2,5	700 - 930	Étage subalpin, mode thermique, intermédiaire ou nival, toutes expositions pentes faibles à moyennes, parfois fortes, sol généralement profond

Pelouses de productivité forte (en phytomasse produite)	100	2,5 à 4	660 - 820	Étage subalpin (1800 - 2200 m) exposition préférentielle Sud pentes faibles à moyennes sol profond, plutôt sec
Pelouses de très forte productivité	100	3 à 5	1760 – 1980	
Landes ouvertes	90 à 100	0,5 à 2	160 – 370	
Landes avec minéral	60 à 70	< 0,5	70 - 150	
Landes denses	90 à 100	< 0,5	< 40	

1.17.5. Scènes satellitales utilisées

Pour les traitements sur le Mercantour, les scènes retenues et analysées ont été captées par le satellite SPOT 2. Ces deux images ont été mises à disposition au Cemagref par l'Atelier Technique des Espaces Naturels.

- Une scène de début d'estive du 12 juillet 1998 (coordonnées de l'image KJ : 53-260, angle de prise de vue 29°). A cette date, il est possible de discerner plus précisément les pelouses très productives car elles sont suffisamment développées et le pâturage n'a commencé que depuis quelques jours.
- Une scène du 8 octobre 1999 (coordonnées de l'image KJ : 53-260, angle de prise de vue 30°). Cette scène semble trop tardive dans la saison pour espérer distinguer tous les types physiologiques. Cependant, ne disposant pas d'autre image de fin de saison, cette image a été utilisée pour essayer distinguer certaines formations comme les landes, les Mélézins clairs sur rochers des Mélézins clairs sur herbe.

Ces deux scènes ne couvrent pas entièrement le Parc National du Mercantour. Seule la partie Est du parc est concernée ([Annexe n° 9](#)).

1.18. CLASSIFICATION SUR LA SCENE DU 07 JUILLET 1998

Les différents traitements ont été réalisés sous le logiciel ERDAS Imagine 8.5 sous station Unix et n'ont pu commencer que début juillet, après avoir reçu l'ensemble des images.

1.18.1. La constitution d'un échantillon de parcelles d'entraînement

Le premier objectif, pour cette image, était de réaliser une première classification, à partir de parcelles d'entraînement « bibliographiques », afin de disposer d'une première cartographie pour une campagne de terrain programmée en juillet et août 2002.

Ces premières parcelles d'entraînement sont issues :

- des travaux de 1992 (BERNARD-BRUNET et JOUGLET, 1992) qui avaient pour objectifs de dresser une première cartographie des pâturages d'altitude à partir de données SPOT et LANDSAT TM sur le Parc National du Mercantour, avec le soutien du Centre Commun de Recherche de l'Ispra (I).
- des cartes d'écofaciès réalisées par M. LAMBERTIN (agro-écologue indépendant – Bureau d'étude Pastoralisme en Montagne) dans le début des années 1990, avec une échelle de l'ordre du 1/10 000. La présence de M. LAMBERTIN s'est avérée importante dans la recherche de ces parcelles. En effet, elle nous a permis de rattacher les faciès agro-écologiques cartographiés dans ses différentes cartes à un type physiologique.

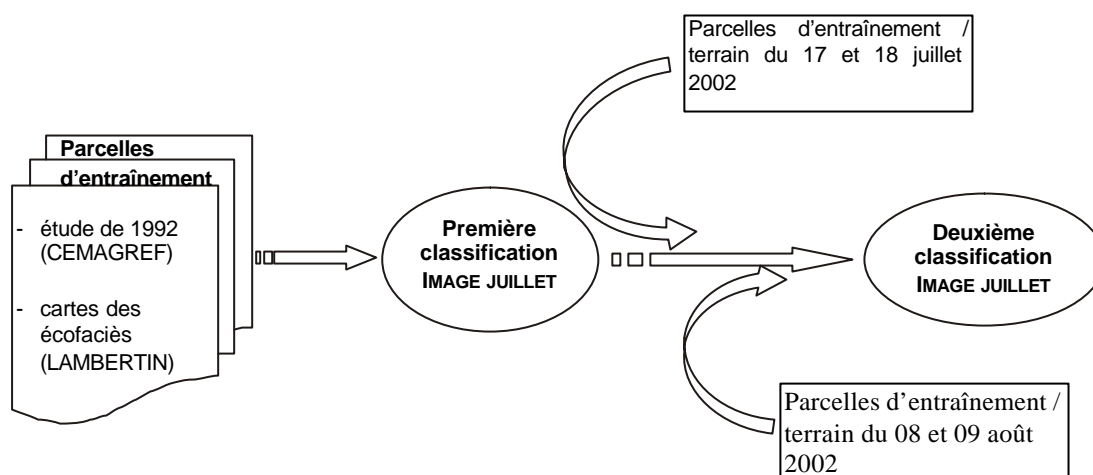
D'autres données bibliographiques existent comme la cartographie de Jean-Louis LAURENT (LAURENT, 1983) ou les travaux de GEOMEDITERRANEE sur l'évolution de l'occupation du sol du Parc National du Mercantour entre 1986 et 1998 (GEOMEDITERRANEE, 2001).

La cartographie physiologique de Jean-Louis LAURENT résulte d'un découpage effectué à partir de photographies aériennes tenant compte de la diversité des formations végétales rencontrées et de la nature du substrat affleurant. La typologie de ces formations est définie par sa stratification verticale et par le recouvrement de chacune des strates. La cartographie est donc de nature physiologique, valable à une échelle du 1/25 000. Elle devra constituer un élément de référence dans le choix d'autres parcelles d'entraînement et pour le contrôle de la classification. Dans nos essais, celle-ci n'a pu être retenue faute de temps et d'expert permettant le rapprochement des types physiologiques Jean-Louis LAURENT avec ceux recherchés.

Les travaux GEOMEDITERRANE n'ont pas pu également être intégrés dans nos traitements à cause, entre autre de son échelle de validation. De plus, les différents types d'occupation du sol décrits dans ces travaux regroupent des milieux allant du niveau de la mer jusqu'aux alpages. Le manque de données pour le rapprochement de cette typologie avec la nôtre a constitué un frein.

Suite à cette première classification, une première campagne de terrain a eu lieu les 17 et 18 juillet 2002 afin de rechercher des parcelles homogènes et typiques d'un point de vue physiognomique et de confronter ces premiers résultats à la réalité terrain. Cette campagne s'est poursuivie en août avec le concours de Monsieur LAMBERTIN. L'ensemble de ces investigations a permis de disposer de nouvelles zones d'entraînement et d'améliorer la première classification.

Figure 14 : Les différentes étapes dans la classification de l'image de Juillet.

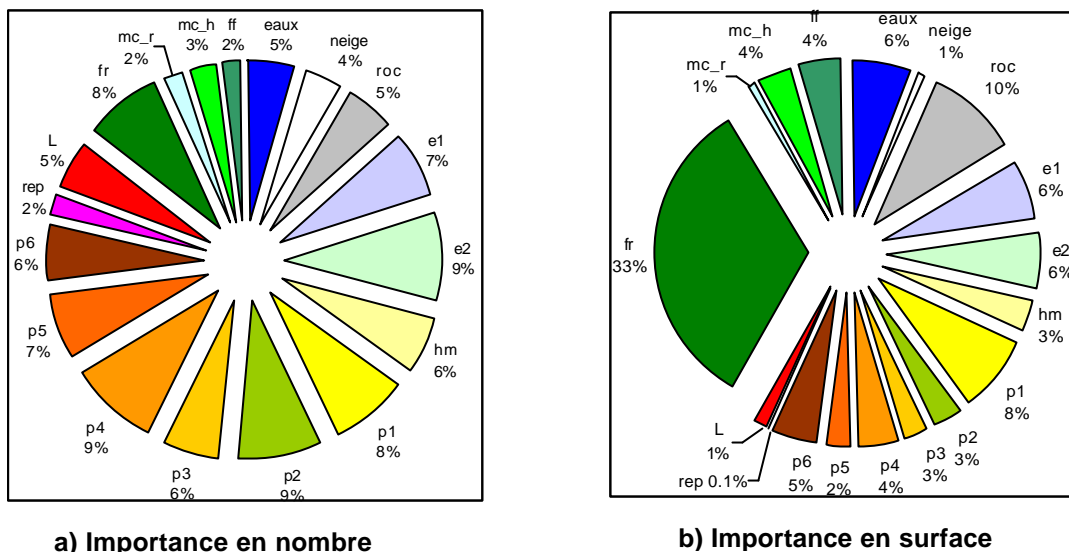


Ainsi 103 parcelles d'entraînement (bibliographie et terrain confondus) ont été retenues. Elles représentent près de 1000 hectares et dix-huit types physiognomiques. On peut juger de leur importance en nombre et en surface dans le tableau n° 7 et la figure n° 15.

Tableau 7 : Nombre et surface des parcelles d'entraînement par type classification de juillet

CODES	TYPES PHYSIONOMIQUES	NB DE PARCELLES	SURFACE (ha)
eaux	Eau (lacs)	5	61.0
neige	Neige (névés)	4	7.1
roc	Rochers	5	96.0
e1	Eboulis peu végétalisés	7	59.1
e2	Eboulis assez bien végétalisés	9	57.5
hm	Formation herbacé / minéral	6	32.8
p1	Pelouses ouvertes	8	77.0
p2	Pelouses rases	9	30.0
p3	Pelouses de production médiocre	6	26.2
p4	Pelouses de production moyenne	9	39.5
p5	Pelouses de forte production	7	24.6
p6	Pelouses de très forte production	6	46.1
rep	Reposoir	2	0.80
l	Landes	5	13.8
fr	Forêts de résineux	8	328.8
mc_r	Mélézin clair sur rocher	2	6.50
mc_h	Mélézin clair sur herbe	3	34.8
ff	Forêt de feuillus	2	42.6
TOTAL		103	984.3

Figure 15 : Classification de juillet
Importance en nombre et en surface des parcelles d'entraînement par type (en %)



L'ensemble de ces parcelles a permis d'établir un algorithme de classification pour les thèmes recherchés, à partir des informations radiométriques des canaux XS1 (vert), XS2 (rouge), XS3 (proche infrarouge) de l'image.

1.18.2. Matrice de confusion sur les parcelles d'entraînement

Des matrices de confusion ont été calculées sur ces parcelles d'entraînement afin d'apprécier l'homogénéité de cet échantillon (Tableau n° 8). Les valeurs diagonales traduisent le pourcentage de bon classement. Les autres valeurs permettent d'analyser les proximités radiométriques entre type et de juger de l'importance des confusions thématiques. Ces matrices de confusion permettent de juger de la pertinence de l'algorithme de classification (BERNARD-BRUNET et al, 1999).

Tableau 8 : Matrice de confusion sur l'ensemble des parcelles d'entraînement (en %)

Terrain	Classés																		
	eaux	neige	roc	e1	e2	hm	p1	p2	p3	p4	p5	p6	rep	L	fr	mc_r	mc_h	ff	
eaux	99.5		*																
neige		98.9																	
roc	*		99.4	*											*				
e1		*	*	83.0	*			*											
e2				16.2	87.2	6.2													
hm			*		10.0	89.8	4.3												
p1						4.0	62.0	4.7	*					10.5					
p2							6.4	61.3	5.8	*				13.5		2.5	4.0		
p3							7.3	8.8	86.6	4.6									
p4								5.5	4.9	83.4	6.4	1.4						*	
p5									10.3	70.7	15.8								*
p6									*	23.0	82.9								
rep													100.0						
landes							18.4	11.4						67.3		6.2	*		
fr														98.5		*	*		
mc_r							*	*					6.7		84.0	9.3			
mc_h								5.9						*	*	7.4	84.8		
ff															*				99.8

* : valeur >0 et < 3 %

En milieux naturels complexes, on considère que les valeurs diagonales supérieures à 80 % peuvent être considérées comme très bonnes (BERNARD-BRUNET et al, 1999) et restent bonnes pour des valeurs situées au dessus de 70 % (BERNARD-BRUNET, com pers 2002).

3 classes sont en dessous des 70 %. Il s'agit :

- des pelouses ouvertes (p1)
- des pelouses rases (p2)
- et des landes (L)

Pour les pelouses p1, 48 % des confusions radiométriques se font avec les landes contre 30 % pour les pelouses rases (p2). A l'inverse, les landes sont confondues avec les pelouses ouvertes (p1) pour 10,5 % et avec les pelouses rases pour 13,5 %.

1.18.3. Evaluation de la classification de juillet et discussions

Une évaluation a été réalisée sur cette classification afin d'une part d'aller jusqu'au bout de la méthodologie et d'autre part avoir des informations sur les confusions entre classification et réalité terrain.

Cette évaluation a été réalisée au moyen de la fonction « Accuracy Assessment » d'ERDAS Imagine. Elle permet de comparer certains pixels de la classification à des données terrain connues. Ces pixels de référence sont de deux types :

1. Des pixels sélectionnés au hasard par le système. Ils représentent 80 % des points. On notera cependant qu'il a été nécessaire de limiter géographiquement le système dans le choix de ces pixels, aux secteurs connus ou renseignés par différentes données. La nature réelle de ces pixels est donc renseignée après consultation de données bibliographiques ayant déjà servies pour l'échantillonnage de parcelles d'entraînement (cartes des écofaciès de M. LAMBERTIN) ou en utilisant les données collectées lors des différentes campagnes de terrain.
2. La deuxième catégorie de pixels, soit les 20 % restants, représentent des zones cartographiées et renseignées lors de différentes campagnes de terrain et qui n'ont pas été utilisées comme parcelles d'entraînement. Ils correspondent en général aux pixels centraux de ces zones.

Il est recommandé de prendre plus de 250 pixels de référence pour estimer la précision moyenne d'une classe à plus ou moins 5 % (GIRARD et GIRARD, 1999). Cependant, compte tenu du temps imparti pour ce contrôle et des données disponibles pour permettre de renseigner ces pixels, il n'a pas été possible d'aller au delà de 100 points. Malgré ce manque de points, on remarquera que les classes les mieux représentées sont les éboulis et les pelouses (Figure n° 17), ce qui pour le contrôle d'une image de juillet est important. En effet, c'est à cette saison qu'il est possible de discerner plus précisément ces formations car elles sont suffisamment développées et les prélèvements par pâturage sont minimes.

Une fois que ces points de référence (points de contrôle) ont été renseignés, la fonction « Accuracy Assessment » permet de dresser une matrice de confusion (Tableau n° 9) et de calculer différents pourcentages. Une double lecture de cette matrice est souhaitable afin de vérifier la « **précision producteur** » et la « **précision utilisateur** » (Figure n°16). La première traduit en pourcentage la part de pixels bien classés. L'écart à 100 % traduit un déficit de pixels classés dans le type considéré. La lecture dite « **utilisateur** » indique la probabilité quand on lit le type X sur la carte, de trouver le même type sur le terrain. Dans ce deuxième cas, l'écart à 100 % traduit l'excès de pixels de types non-X classés dans le type X (BERNARD-BRUNET et al, 1999).

Figure 16 : La double lecture des matrices de confusions (BERNARD-BRUNET et al, 1999)

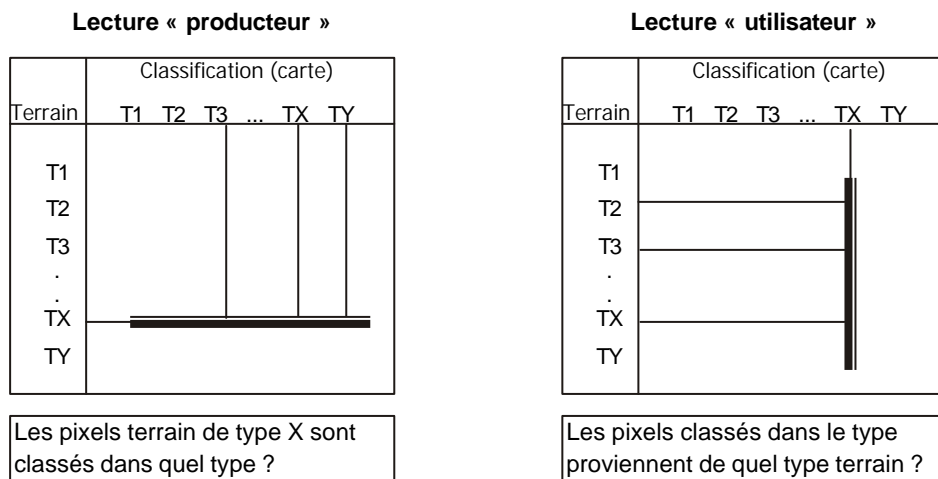


Figure 17 : Répartition des pixels de contrôle pour la classification de juillet 1998

TYPES	NB DE PIXELS
eaux	1
neige	0
roc	4
e1	7
e2	12
hm	4
p1	11
p2	12
p3	14
p4	22
p5	6
p6	2
rep	0
l	0
fr	0
mc_r	1
mc_h	3
ff	0
TOTAL	99

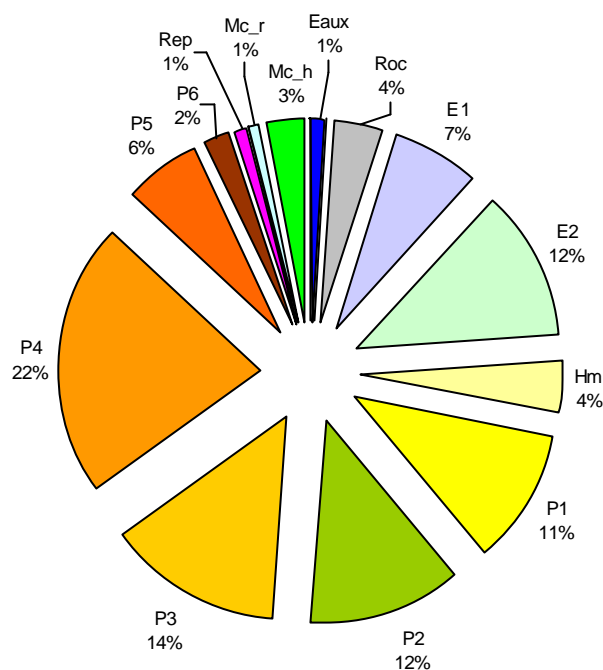


Tableau 9 : Matrice de confusion sur les pixels de contrôle (en nombre de pixels)

Terrain	Classification																		
	eaux	neige	roc	e1	e2	hm	p1	p2	p3	p4	p5	p6	rep	L	fr	mc_r	mc_h	ff	
eaux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
neige	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
roc	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
e1	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
e2	0	0	0	1	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
hm	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
p1	0	0	0	0	2	1	3	1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	
p2	0	0	0	0	0	1	1	8	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	
p3	0	0	0	0	1	0	2	2	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
p4	0	0	0	0	0	0	0	2	2	11	7	0	0	0	0	0	0	0	
p5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	
p6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
rep	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
landes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
fr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
mc_r	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
mc_h	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
ff	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tableau 10 : Précisions "producteur" et "Utilisateur"

Classes	Pixels terrain	Pixels classification	Nombre Correct	Précision producteur	Précision utilisateur
eaux	1	0	0		
neige	0	0	0		
roc	4	3	2	50.0%	66.7%
e1	7	6	5	71.4%	83.3%
e2	12	11	7	58.3%	63.6%
hm	4	7	1	25.0%	14.3%
p1	11	7	3	27.3%	42.9%
p2	12	15	8	66.7%	53.3%
p3	14	8	5	35.7%	62.5%
p4	22	16	11	50.0%	68.8%
p5	6	12	4	66.7%	33.3%
p6	2	2	1	50.0%	50.0%
rep	1	0	0		
landes	0	5	0		
fr	0	1	0		
mc_r	1	3	1	100.0%	33.3%
mc_h	3	4	2	66.7%	50.0%
ff	0	0	0		
Total	100	100	50		

Précision classification totale = 50.00%

Les commentaires qui suivent ne porteront que sur les milieux les mieux représentés (éboulis et pelouses) compte tenu du faible nombre de pixels de contrôle pour les autres classes.

- **Commentaires sur la précision « producteur »**

Les déficits de classements les plus importants concernent les types herbacée-minéral, les pelouses p1 et les pelouses p3. On remarque (Tableau n°10) que pour la formation p3, ces déficits correspondent essentiellement à des types immédiatement voisins et donc proches d'un point de vue physiologique (28 % pour p4 et 14 % pour p2). Pour p1 les confusions se font dans la moitié des cas en faveur des e2 et des landes.

Soulignons enfin les bons résultats pour les P5, P2 et E1 qui avoisinent ou dépassent les 70 %.

- **Commentaires sur la précision « utilisateur »**

Les plus forts excédents concernent les p5, les p1 et hm. Pour ces p5, les confusions semblent être fortes avec les pelouses p4 qui est un type très proche d'un point de vue physiologique. Les p4 représente en effet 58 % des excédents de p5. Nous pouvons faire les mêmes remarques pour les autres classes avec des hm qui présentent des excédents importants de e2.

Les meilleurs pourcentages sont les éboulis peu végétalisés (e1), les pelouses de production moyenne (p4) et les milieux rocheux (roc).

1.19. CLASSIFICATION SUR LA SCENE DU 08 OCTOBRE 1999

La deuxième image disponible pour réaliser cette cartographie physiologique de la végétation a été prise le 08 octobre 1999 (SPOT 2). Une première analyse dans la composition colorée Proche-Infrarouge / Rouge / Vert nous a permis de constater la forte représentation de zones d'ombre liées aux expositions, aux pentes du terrain et à l'abondance de nuages.

Les parcelles d'entraînement utilisées correspondent à celles de l'image de juillet, re-délimitées, pour ne garder que des zones homogènes en terme de réponse radiométrique à la date de prise de vue. Lors de cet échantillonnage, des difficultés sont apparues pour la constitution des parcelles d'entraînement des types différents de pelouses en fonction de leur végétation herbacée (état sénescence : chute de la réponse dans le proche-Infrarouge liée à la perte de matière chlorophyllienne).

Suite à ces premières constatations, il a été décidé :

- de faire un masque Adret-Ubac pour appliquer les algorithmes de classification qu'en Adret et éviter la grande majorité des zones d'ombre,
- d'utiliser cette image pour améliorer la classification de certaines formations ligneuses retenues dans la première cartographie de juillet et notamment la distinction des Mélézins clairs sur herbe des Mélézins clairs sur rochers. **L'hypothèse était qu'à cette saison, la baisse de l'activité chlorophyllienne des Mélézins permettrait une meilleure discrimination du sous-bois et faciliterait la distinction entre ces deux formations.**

Après plusieurs essais, nous n'avons obtenu aucun résultat significatif. Les landes classées uniquement en Adret, comme le reste de la classification, représentaient une part importante des surfaces classées et la distinction Mélézin clair sur herbe et Mélézin clair sur rochers n'était pas pertinente. L'activité chlorophyllienne des Mélézins semble encore trop importante pour que les sous-bois puissent s'exprimer.

Il a donc été décidé d'abandonner les traitements sur l'image d'octobre et de se concentrer que sur l'image de juillet qui servira de base dans nos essais de localisation probable de certains écofaciès.

1.20. RESULTATS DES CLASSIFICATIONS ET DISCUSSIONS

1.20.1. Résultats (Essai « classif6 »)

Ces résultats ne portent que sur l'image de juillet puisque, comme nous l'avons vu, l'image d'octobre paraît trop tardive pour être intégrée dans ces différents traitements. Ces résultats ne sont donc que partiels puisque la méthodologie prévoit l'utilisation d'au moins deux images exploitables.

Cette cartographie de juillet met donc en évidence 18 types physiologiques, établis sur la base des caractéristiques des types agro-écologiques. Compte tenu de la dimension des pixels traités (20 x 20 m), cette carte est valide à une échelle de 1/25 000. Le résultat cartographique est illustré par une carte physiologique partielle de la zone d'étude (une partie seulement du Parc National du Mercantour zone centrale et zone périphérique – [Annexe n° 12](#)) et par la carte d'une zone donnée comme exemple : Alpages de Sanguinière ([Annexe n° 13](#)). La légende des cartes se trouve en [Annexe n° 11](#).

classe	Surface (ha)
eaux	189
neige	275
roc	6486
e1	5302
e2	4499
hm	4530
p1	4051
p2	2105
p3	1591
p4	2234
p5	726
p6	192
rep	2
landes	1930
fr	6587
mc_h	3219
mc_r	1347
ff	177
TOTAL	90530

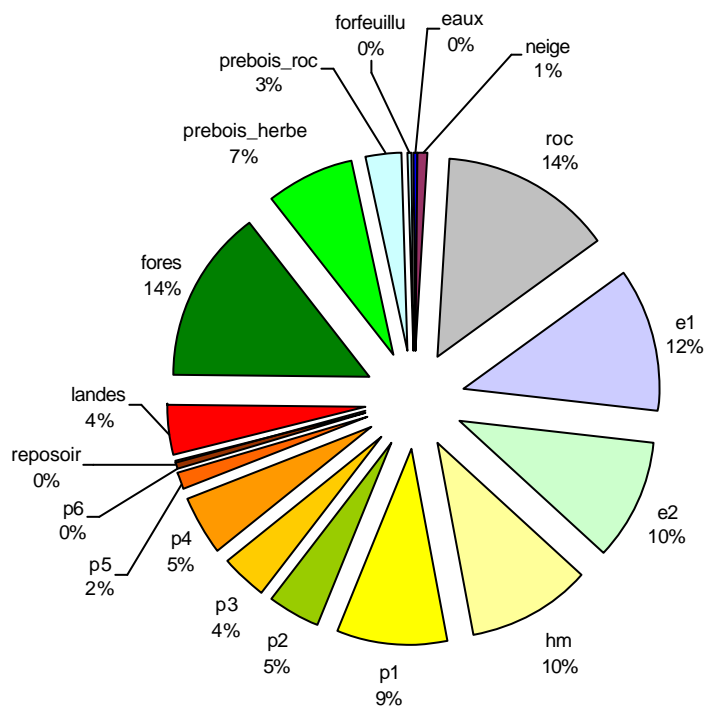


Figure 18 : Répartition des différents types physiologiques dans la partie zone centrale du Parc National du Mercantour concernée par la classification.

La figure n° 18 met en évidence l'importance des zones minérales dans cette espace puisque les rochers, les éboulis et le type herbacée-minéral représenteraient 46 % de la surface. Les pelouses qui ont été distinguées en 6 types physiologiques occuperaient 24 à 25 % des surfaces. Si on ajoute les Mélézins clair sur herbe qui constituent une ressource fourragère non négligeable, les surfaces potentiellement exploitables par les élevages traditionnels représenteraient 32 % de ce territoire.

Une analyse a été réalisée avec M. LAMBERTIN afin qu'il puisse donner un avis général sur cette cartographie. Il ressort de cette analyse :

1. Un excès de landes. Cette partie de la zone centrale du Mercantour présente peu de formations ligneuses basses alors que le type lande ressort pour plus de 4 % de ce territoire. Les premières investigations sur le terrain permettent d'apporter quelques explications. On retrouve de la lande dans les secteurs riches en Jonc trifide, les secteurs où les sols et roches foncés affleurent et les secteurs où l'on trouve des problèmes de solifluxions. L'analyse de la cartographie montre également que les effets de lisières et de pixels mixtes profitent à cette classe. Enfin, les classifications précédentes distinguaient différentes catégories de landes en fonction de leur hétérogénéité par rapport aux strates herbacées et minérales (landes ouvertes, landes denses...). Hors les parcelles d'entraînements landes qui ont servi à cette classification, ne sont issues que des parcelles bibliographiques (issues des travaux de 1992 et des cartes des écofacès de M LAMBERTIN) ou cette information d'hétérogénéité n'apparaît pas. Il est ainsi possible que notre échantillon regroupe un ensemble de parcelles trop hétérogènes qui entraînent des confusions avec d'autres classes.
2. Une relativement bonne discrimination des formations peu végétalisées (éboulis, herbacée-minéral et pelouses en gradins). Il est nécessaire d'attacher de l'importance à ces classes qui selon M. LAMBERTIN constituent l'essentiel des problématiques pastorales avec une sur-fréquentation en période estivale. Ces formations accueillent de façon trop importante les troupeaux ovins friands des végétations rases qui s'y développent, ce qui entraîne des problèmes d'érosion.
3. Comme pour les landes les formations de Mélézins clairs semblent être trop importantes. Une des confusions remarquées sur le terrain est celle avec des pelouses de type p4 et p2 dans des expositions Nord.

1.20.2. Discussions

Les résultats obtenus avec cette classification ne sont que partiels. Le manque de données terrain (seulement une dizaine de parcelles issues des campagnes de terrain ont pu être intégrées dans les différents échantillonnages) et l'utilisation d'une seule image satellitale ne permettent pas d'arriver à des résultats satisfaisants. Cependant ils constituent une première étape dans l'élaboration de cette cartographie physiologique de la végétation, qui se poursuit dans le cadre du programme EON 2000+.

Pour améliorer ces résultats, il sera nécessaire de poursuivre ces investigations terrain pour augmenter le nombre de ces parcelles d'entraînement issues de ces campagnes et renseigner d'éventuels pixels de contrôle si la méthode par la fonction « Accuracy Assessment » est conservée.

Il est nécessaire également de se procurer une deuxième voire une troisième image satellite. Les périodes optimales seraient certainement mi-août et mi-septembre. L'image d'août permettrait une cartographie des étages supérieurs (en partie sous la neige en juillet) et d'affiner ainsi la localisation de certains types. L'expérience acquise par l'équipe du Cemagref de Grenoble « Agriculture et milieux montagnards » montre que les couverts végétaux ligneux sont mieux discernés en fin d'estive (CHERPEAU, 1996 ; CHAMIGNON, 1990). Une image en septembre semble donc une bonne période pour mieux discriminer les landes qui apparaissent sur cette première cartographie comme le type physiologique à améliorer en priorité.

D'autres problèmes ont été rencontrés comme certains « effets de site » observés sur l'image de juillet dans le secteur du Mont Mounier. En effet, les réponses radiométriques semblent anormalement élevées. L'ensemble des pelouses, qui occupent de grande surface, ont une radiométrie dans le « proche infra rouge » proche des pelouses p6. Une confrontation terrain nous permis de constater la présence locale de p5 mais dans leur grande majorité ces pelouses sont de l'ordre du p3 et p4, ce qui fait une différence de deux à trois classes de productivité. L'exposition ne semble pas être en cause du fait de la présence de ces radiométries fortes dans des expositions Sud et Nord. Une autre piste a été explorée, celle d'une importante floraison blanche à la date de prise de vue (le blanc ré-émettant l'ensemble des radiations reçues). L'indice de végétation NDVI⁹ a été calculé pour lever ce voile mais s'est avéré peu concluant.

⁹ $NDVI = \frac{(radiométrie_procheIR) - (radiométrie_rouge)}{(radiométrie_procheIR) + (radiométrie_rouge)}$

L'image d'octobre s'est donc révélée trop tardive pour être intégrée dans cette classification. Les résultats attendus pour les formations ligneux bas et Mélézin clair, à laquelle était sensé être destinée cette image, sont loin d'être concluants. L'hypothèse que **la baisse de l'activité chlorophyllienne des Mélézins à une certaine époque de l'année permettrait une meilleure discrimination des différents types de sous-bois n'est pas à écarter**. Pour cela, il faudrait pouvoir disposer d'une image encore plus tardive comme fin novembre, époque où les aiguilles de Mélézin sont tombées et où la neige ne couvre pas encore l'ensemble des sommets. A cette saison, il serait plus facile de discerner les milieux rocheux et par une combinaison des différentes classifications déduire ceux qui présentent un sous-bois constitué essentiellement d'éléments minéraux de ceux constitués d'herbe.

Enfin une dernière remarque concernant ces classes de Mélézin clair : **Quel est la densité d'arbres pour laquelle j'observe une modification significative des réponses radiométriques entre une pelouse et un Mélézin clair et entre un Mélézin clair et un bois ?** En effet, une des raisons potentielles de la mauvaise discrimination de ces classes est l'utilisation de parcelles d'entraînement avec des densités d'arbres plus ou moins différentes. Il est donc proposé pour les prochaines campagnes de terrain d'évaluer cette densité d'arbres afin de mieux cerner ces limites entre formations.

Si les points de contrôle ne sont pas assez nombreux pour en déduire des statistiques fiables, ils permettent cependant, pour quelques classes, de se situer par rapport aux résultats attendus. Nous l'avons déjà vu, ils mettent en évidence le problème des landes qui sont trop représentées. Ils permettent également de se rendre compte de la trop grande proximité entre nos classes P4 et P5. Les P5 terrain sont classés essentiellement en P5 mais les P5 classés présentent de nombreuses P4. Il serait donc intéressant de relever la limite des P5 par rapport aux P4 en prenant dans l'échantillon de parcelles d'entraînement les P5 les plus productives.

ESSAI DE LOCALISATION PROBABLE DE CERTAINS TYPES AGRO-ÉCOLOGIQUES

1.21. METHODOLOGIE ET INFORMATIONS REQUISES

1.21.1. Objectifs des traitements

L'objectif de cette phase de travail est d'affiner la cartographie physionomique de la végétation pour descendre à des niveaux de description plus fins en terme phyto-écologique. Cet objectif répond à une attente des gestionnaires d'espaces naturels. Si le niveau physionomique permet aux gestionnaires de mieux articuler végétation et usages d'un site, il ne permet pas de juger de l'intérêt biologique potentiel.

A l'origine, cette cartographie présente une utilisation pastorale en permettant d'estimer les ressources fourragères potentielles. Aujourd'hui l'enjeu pour le Cemagref est d'expérimenter l'utilisation de cette cartographie par rapport à des objectifs « patrimoine naturel ». Des tests ont été réalisés récemment sur un secteur du Parc National de la Vanoise et devraient être approfondis (MOREL S., 2001).

Dans le cadre d'EON 2000+, pour le cas du Parc national du Mercantour, le Cemagref de Grenoble propose la méthodologie suivante :

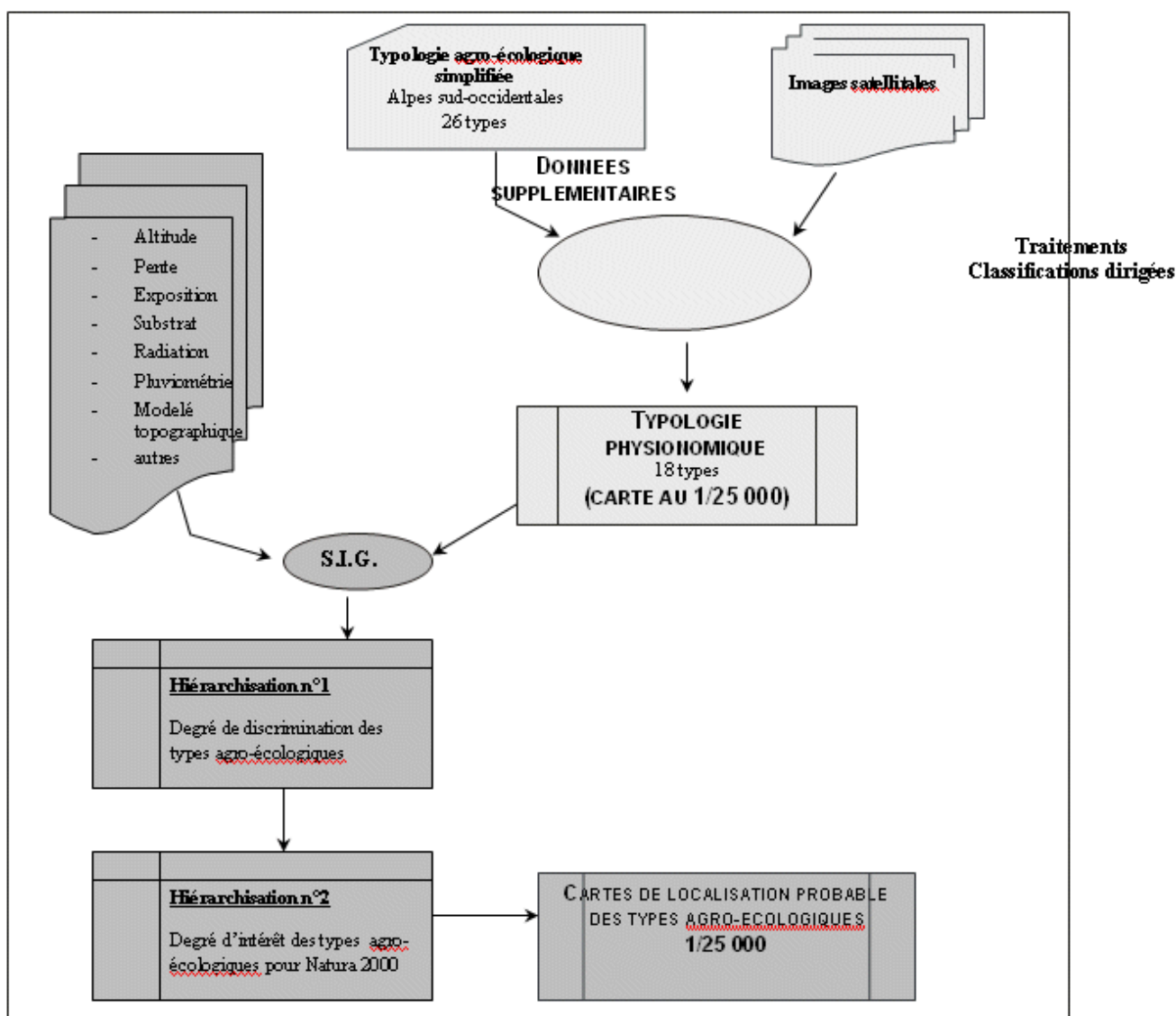


Figure 19 : Cartographie des types agro-écologiques : Méthodologie proposée (BERNARD-BRUNET J., 2002)

1.21.2. Caractérisations des types agro-écologiques retenus pour les traitements

La réalisation de ces traitements n'est intervenue qu'en fin de stage, c'est pourquoi nous avons décidé de limiter le nombre de types agro-écologiques à étudier et de se focaliser sur :

- **Les formations à Fétuque paniculée.**

Cette graminée cespiteuse développe des touffes denses et abondante . Cette végétation peut atteindre plus de 50 cm de hauteur. L'abandon des pratiques de fauche depuis le début du siècle a favorisé l'extension des pelouses à Fétuque paniculée qui se sont considérablement développées entre 1 800 et 2 200 mètres d'altitude (JOUGLET J.P., 1999). Cette Fétuque est généralement sous pâturée par les troupeaux ovins, ce qui favorise également son extension. Il en résulte un envahissement progressif qui peut se faire au détriment d'autres espèces et peut donc constituer une « menace » pour certains habitats. Les traitements devront permettre une localisation probable des formations denses à Fétuque afin que le gestionnaire puisse favoriser des actions sur les zones sensibles, menacées par une éventuelle extension.

Les caractéristiques générales de cette formation sont les suivantes (JOUGLET, J.P., 1999) :

Type physiologique	Conditions du milieu (JOUGLET J.P., 1999)					
	Altitude minimale	Altitude maximale	Exposition	Substrat	Pente	Radiation *
Pelouses de forte à très forte production (p5 et p6)	1 800 m	2 300 m	Préférence pour le sud	Préférence pour le calcaire	Faible, bas de versant	Faible à forte

- **3 sous-types agroécologiques** appartenant aux types physiologiques **pelouses ouvertes (p1) et pelouses rases (p2) :**

1. Le sous-type « **pelouses des crêtes ventées** » et plus particulièrement l'Alliance de ***Oxytropo-Elynion***
2. Le sous-type « **pelouses alpines et subalpines des fonds de vallon** » avec l'Alliance du ***Caricion ferruginae***
3. Le sous-type des « **pelouses subalpines et alpines en gradins** » avec l'Alliance du ***Seslerion variaie***

Ces sous-types ont été choisis de part leur intérêt patrimonial, puisque ce sont tous des habitats d'intérêt communautaire de l'annexe I de la directive « Habitats » ([Annexe n°3](#)), et de leur sensibilité aux pratiques pastorales (sur-pâturage et sur-piétinement). La localisation probable de ces sous-types doit permettre aux gestionnaires de connaître ces zones potentielles afin d'y porter une attention particulière. Cette localisation probable se présente comme la cartographie de zones où l'on rencontre une convergence de facteurs favorables à la présence de ces faciès.

Pour ce qui concerne le sous-type de l'*Oxytropo-Elynion* aucune cartographie même probable n'a été réalisée au Parc sur l'ensemble de la zone centrale, dans le cadre de Natura 2000. Ces travaux pourront donc constituer un complément intéressant.

Les caractéristiques générales de ces formations sont donc les suivantes.

1. Pelouses des crêtes ventées de l'*Oxytropo-Elynion*

Type physiologique	Conditions du milieu (JOUGLET J.P., 1999)					
	Altitude minimale	Altitude maximale	Exposition	Substrat	Situation topographique	Radiation*
Pelouses ouvertes (p1) et localement Pelouses rases (p2)	2 300 m	2 800 m	Nord	Calcaire	Crêtes et mamelons	Très faible à moyenne

* Valeur déterminée à dire d'expert, (M. LAMBERTIN, agro-écologue spécialiste des végétations pastorales du Mercantour)

2. Pelouses alpines et subalpines des fonds de vallon du *Caricion ferrugineae*

Type physiologique	Conditions du milieu (JOUGLET J.P., 1999)					
	Altitude minimale	Altitude maximale	Exposition	Substrat	Situation topographique	Radiation*
Pelouses ouvertes (P2)	2 000 m	2 600 m	Sud-W / Sud-E	Calcaire	Fonds de vallons	Faible à forte

3. Pelouses alpines et subalpines en gradins du *Seslerion variaie*

Type physiologique	Conditions du milieu (JOUGLET J.P., 1999)					
	Altitude minimale	Altitude maximale	Exposition	Substrat	Situation topographique	Radiation*
Pelouses ouvertes (P1) et herbacé-minéral (hm)	1 700 m	2 400 m	Sud-W / Sud-E	Calcaire	Pente forte (50 / 70 %)	Forte à très forte

1.21.3. Données disponibles et génération de nouvelles couches d'informations

Après avoir caractérisé les différents faciès retenus, nous avons pu définir l'ensemble des couches nécessaires pour la localisation de ces formations. Ces couches sont issues pour leur majorité du Tableau de bord géographique du Mercantour ([Annexe n° 2](#)). Certaines cependant, ont été générées pour les besoins de cette étude à partir notamment du Modèle Numérique de Terrain.

- **Les types physiologiques**

Cette couche d'information constitue notre couche de base au niveau spatial. Cette information est valide au-dessus de 1 800 mètres d'altitude. Elle est le résultat des différents traitements opérés et décrits ci-avant. Chaque pixel de 20 mètres par 20 mètres de la zone a été classé dans un des 18 types physiologiques présentés dans le tableau n° 5.

Format	Résolution	Etendue géographique	Echelle	Nature
Raster	20 m	Zone centrale et périphérique (en partie)	1/25 000	18 types

- **Nature de la roche mère**

Les types retenus ont des exigences ou des préférences pour le substrat calcaire. Cette information constitue un élément important pour la localisation de nos faciès. Cette information a été récupérée sur une des couches du Tableau de Bord Géographique du Mercantour issue de la carte géomorphologique du Mercantour (LOURY-GUIGAN, 1984). Cette couche présente l'information sous 4 valeurs possible :

- Calcaire certain
- Présumé calcaire
- Présumé non calcaire
- Non calcaire certain

Pour nos différents croisements, nous avons retenu à la fois les zones où la présence du calcaire est certaine et les zones où le calcaire est présumé présent.

Format	Résolution	Etendue géographique	Echelle	Nature
Vecteur	-	Zone centrale	1/25 000	4 classes

- **Les données dérivées du Modèle Numérique de terrain**

A partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN à 50 m, nous avons généré les données suivantes :

- pente (en degrés),
- exposition,
- altitude.

Format	Résolution	Etendue géographique	Echelle	Nature
raster	50 m	Zone centrale et périphérique	1/25 000	valeurs

- **Les données topo-climatiques : Radiation**

Les données climatiques jouent un rôle important dans la répartition de la végétation et notamment la pluviométrie et l'ensoleillement. Pour ce qui est de la pluviométrie, des contacts avec le Cemagref d'Aix-en-Provence ont été pris afin de disposer d'estimations des pluies mensuelles moyennes tous les 2 km. Ces données n'ont pas été envoyées à temps pour les intégrer dans ce travail.

Pour ce qui est de l'ensoleillement, nous avons utilisé une couche radiation solaire obtenue par un calcul effectué sur le MNT. Ce calcul, a été fait avec une extension d'ArcView 3.1 : Solar Analyst, développé par un laboratoire américain de l'Université du Kansas (FU et RICH, 2001). Il porte sur une période de végétation de 200 jours (mi-avril à fin-octobre), tous les 14 jours et toutes les 2 heures. Le résultat obtenu s'exprime en kWatt/m² ([Annexe n° 14](#)).

Après avoir défini avec Monsieur LAMBERTIN, les préférences écologiques des faciès étudiés, on a créé 5 classes de radiation :

CLASSE	INTITULE	INTERVALLES
1	Radiation très faible	< à 650 000 W/m ²
2	Radiation faible	entre 650 000 et 850 000 W/m ²
3	Radiation moyenne	entre 850 000 et 1 050 000 W/m ²
4	Radiation forte	entre 1 050 000 et 1 180 000 W/m ²
5	Radiation très forte	> à 1 180 000 kW/m ²

Cette donnée a été préférée à l'exposition car elle permet de « corriger » certaines expositions notamment dans les secteurs d'Ubac qui peuvent être autant ensoleillés que des Adret dans certaines conditions de pente et d'ombre portée (MOREL S., 2001).

Format	Résolution	Etendue géographique	Echelle	Nature
raster	50 m	Zone centrale et périphérique (en partie)	1/25 000	4 classes

- **Modèle topographique**

Nous avons recherché, en vain, comment créer une couche sur les formes topographiques (bas de versant, haut de versant, bombement, pentes concaves, pentes convexes...). En effet, comme on peut s'en rendre compte dans l'intitulé des faciès recherchés : pelouses des crêtes, pelouses des fonds de vallon..., la situation topographique joue un grand rôle dans la caractérisation des formations pastorales en créant certaines conditions permettant leur installation.

Nous avons à notre disposition les logiciels ERDAS Imagine © et IDRISI © pour permettre de générer cette couche. De ces deux logiciels, seul Idrisi propose une fonction intitulée « Toposhape » pouvant répondre à nos attentes. Cette fonction classe chaque pixel d'un MNT dans 11 classes prédéfinies (pics, mamelons, pentes concaves, pentes convexes, crêtes...). Cependant, après de multiples essais et de nombreux contacts avec d'autres utilisateurs, il s'est avéré que cette fonction n'est pas opérationnelle dans la version 32 qui était à notre disposition.

Diverses opérations ont été engagées, à partir de couches annexes (bassin versant, pente, exposition...) afin de localiser certaines formes comme les mamelons mais les résultats produits n'ont pas été à la hauteur de nos attentes. La génération de ce modèle topographique n'a donc pas pu être réalisée durant ce stage mais reste un élément important qu'il sera nécessaire d'acquérir dans cet objectif de localisation probable de certains faciès agro-écologiques.

1.22. CROISEMENT DES DIFFERENTES COUCHES

La méthodologie utilisée dans les premiers essais du Cemagref pour cette localisation probable de faciès agro-écologique sur une partie du Parc National de la Vanoise était celle d'un croisement de couches vectorielles sous Arc Info© et Arc View © (MOREL S., 2001).

Après discussion avec M. BERNARD-BRUNET, et compte tenu du peu de temps qu'il me restait durant ce stage, une seule approche a été choisie, celle de croiser nos différentes couches en mode raster et ceci pour plusieurs raisons :

- cela permet d'utiliser la cartographie physionomique de la végétation dans son état brut et de l'utiliser comme support cartographique à cette localisation probable (la vectorisation de cette cartographie nécessite en effet au préalable un lissage des pixels pour obtenir des zones homogènes, ce qui entraîne une perte d'information non négligeable). L'intérêt est à la fois de permettre une meilleure localisation sur le terrain et de conserver une information sur le contexte physionomique.
- cette méthode présente un côté expérimental de part l'utilisation de la fonction « Model Maker » d'ERDAS Imagine©. Cette fonction se rapproche de très près du macro-modeler d'IDRISI 32 et permet de générer des modèles graphiques. Des détails sur cette fonction sont donnés dans le paragraphe suivant.

Cette méthode présente cependant quelques inconvénients comme le risque de voir certaines zones homogènes physiologiquement être classées dans un faciès recherché en partie seulement (effet de bordure, de limites). En mode vecteur, les outils d'intersection ou de contenance d'objets, permettent de mieux gérer ce problème.

Les résultats de ces différents croisements seront valables pour une échelle du 1/25 000 compte tenu que l'échelle de validité de nos différentes couches est homogène au 1/25 000.

1.22.1. Le logiciel et les fonctions utilisées

L'ensemble de ces procédures de croisements a été réalisé sous station UNIX par le logiciel ERDAS Imagine© et plus particulièrement avec le langage « Spatial Modeler » généré avec la fonction graphique du « Model Maker ». La figure n°20 présente les différentes étapes pour la constitution d'un modèle graphique.

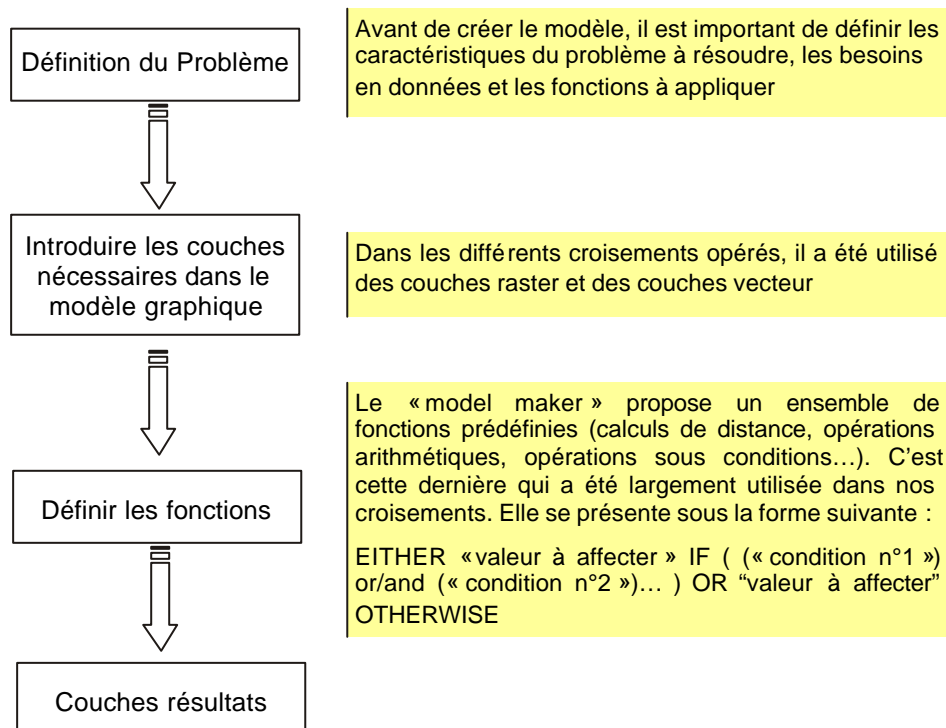


Figure 20 : La constitution d'un modèle graphique sous le « Model Maker » d'ERDAS Imagine ©

Deux modèles graphiques ont été conçus. Le premier a servi pour la localisation des zones à Fétuque paniculée, le deuxième pour la localisation des 3 autres faciès (Annexe n° 14).

Pour que les calculs puissent se faire rapidement lors de modifications de certains seuils, on a réalisé, dans une étape préalable, les intersections de la couche vecteur « calcaire » avec la couche raster « altitude » indépendamment des autres intersections. En effet, l'intersection d'une couche vecteur et d'une couche raster demande beaucoup de plus de temps au système. La couche raster résultante de cette première intersection (zone calcaire comprise entre une altitude maximum et une altitude minimum) est ensuite intégrée aux autres modèles graphiques.

1.23. RESULTATS ET DISCUSSIONS

1.23.1. Résultats sur les types agro-écologiques retenus

La vérification de la localisation probable des faciès retenus n'a pu être faite qu'à partir des cartes des écofaciès de M. LAMBERTIN, réalisées dans les années 1990. Pour une évaluation pertinente de ces essais, il aurait fallu utiliser une méthodologie similaire à celle employée pour le contrôle de la cartographie physionomique de la végétation. Le manque de données de terrain ne nous a pas permis de la mettre en place.

L'appréciation apportée à ces résultats sont donc subjectifs. Néanmoins, ils constituent une première étape pour améliorer ces traitements par la suite.

- **Les formations à Fétuque paniculée**

Les résultats pour la localisation des formations denses et homogènes à Fétuque paniculée semble être encourageants. Plusieurs pelouses où la fétuque était indiquée comme présence (Lauzanier, Salso-moreno) ont été retenues dans nos résultats. D'autres secteurs comme le Mont Mounier sont anormalement sur-évalués en Fétuque.

On peut avancer certaines explications à ces résultats. Seules les pelouses à très forte productivité (p6) ont été retenues dans nos différents essais. Dans leur majorité les p6, à ces altitudes, correspondent soit à des prairies de fauche, soit des faciès colonisés par la Fétuque, ce qui limite ainsi les risques de confusions.

- **Les trois autres types agro-écologiques retenus**

Pour ce qui concerne les pelouses alpines et subalpines en gradins du *Seslerion caeruleae*, nous pouvons avancer la même satisfaction que pour les formations à Fétuque paniculée. Les facteurs pente, nature, et radiation sont tous les trois des facteurs discriminants pour cette formation. Ce sont également des facteurs, que l'on arrive à bien gérer avec les différentes données qui étaient à notre disposition. De plus, ces pelouses en gradins correspondent essentiellement à des pelouses ouvertes (p1) ou des formations herbacée-minéral (hm). Hors, aux dires d'expert, ces deux catégories semblent bien caractérisées dans notre cartographie physionomique.

Les pelouses alpines et subalpines des fonds de vallon du *Caricion ferrugineae* et les pelouses des crêtes ventées de l'*Oxytropo-elynion* présentent des résultats beaucoup moins satisfaisants. L'hypothèse avancée pour expliquer ces mauvais résultats apparents est le manque d'une information concernant les formes topographiques. Ces deux pelouses sont typiques pour l'une des crêtes et mamelons et pour l'autre des fonds de vallon. Il semble donc nécessaire pour la suite de ces traitements de continuer à rechercher les outils qui permettraient d'obtenir cette couche d'information.

1.23.2. Discussions

Les résultats obtenus par cette méthode sont dépendants avant tout de la qualité de la cartographie physionomique de la végétation. Celle-ci n'étant qu'en cours d'élaboration, des améliorations devraient être apportées ce qui améliorera d'autant ces essais de localisation probable.

Il apparaît nettement à travers ces premiers résultats et des quelques vérifications qui ont pu être faites, de l'importance de disposer de nouvelles couches d'informations telles que les formes topographiques. Un

autre élément naturel semble rentrer en compte dans la répartition et la distinction de certains types : la durée d'enneigement. En effet, certains écofaciès sont caractéristiques des combes et dépressions longtemps enneigées (de 7 à 8 mois). Les pistes à explorer sont les services d'EDF pour la gestion des barrages. Il existe aussi certainement des modèles qui intègre à la fois la forme topographique, l'exposition, l'altitude... Autre solution, l'utilisation d'images satellitales multodate mais avec des risques d'avoir des années atypiques (enneigement important ou déficient).

D'un point de vue méthodologique, les différents croisements opérés sont très bornés puisqu'ils sont basés uniquement sur une approche présence/absence alors que les milieux naturels ne sont pas aussi stricts. Une des solutions serait de pondérer les différentes données en fonction de l'affinité qu'a le milieu recherché avec celles-ci. L'altitude ou l'exposition sont de bons exemples. De nombreux faciès sont limités d'un point de vue altitudinal mais la probabilité de les rencontrer reste plus forte au centre qu'aux bornes de ces intervalles. De plus, au-delà de ces limites les probabilités de les rencontrer ne sont pas nulles si les autres conditions sont maintenues. Ainsi, cette pondération permettrait d'être plus souple avec les seuils utilisés dans nos différentes modélisations et d'apporter un jugement qualitatif sur cette localisation probable.

CONCLUSION

Cette étude a permis dans un premier temps d'analyser les objectifs du Parc National du Mercantour et les enjeux du site Natura 2000 « le Mercantour ». Le maintien et l'adaptation des pratiques pastorales pour la gestion et la conservation de certains habitats ressortent comme les thèmes principaux dans les objectifs de gestion du parc.

Pour le suivi de ce site, la méthodologie d'élaboration d'indicateurs mise en place durant ce stage prend en compte les attentes des gestionnaires. L'utilisation du modèle Pression-Etat-Réponse constitue un point fort car il permet de répondre aux exigences de Natura 2000 qui sont d'intégrer les aspects économiques et naturels d'un site.

Les indicateurs formulés permettront de rendre compte des résultats obtenus dans la mise en œuvre des actions Natura 2000. Cependant de nombreuses questions restent posées comme les méthode à mettre en place pour recueillir les données indispensables aux différents calculs. Jusqu'à aujourd'hui, le suivi de la gestion des alpages, par l'intermédiaire des enquêtes pastorales, permet de réaliser des évaluations à des échelles de territoire. Celles répondant à des problématique de suivi d'habitats naturels, nécessite d'être plus précises et plus proches des quartiers de pâturage : niveau où l'on peut confronter des objectifs de pratique pastorale avec des objectifs de préservation d'habitats naturels.

Cette liste d'indicateurs ne prétend pas être complète ni adaptée à n'importe quelle situation. Il serait intéressant qu'une nouvelle analyse soit faite avec les différents agents du Parc National du Mercantour afin qu'ils puissent analyser la faisabilité, l'intérêt et éventuellement apporter leur vision du terrain. La mise en place des CTE, l'avancement de ce projet, les nouvelles sollicitations des administrations pour la mise en place d'indicateurs Natura 2000 sont autant d'avancées intervenues durant ce stage qui leur permettraient une analyse plus critique.

Nous pouvons signaler cependant quelques limites à ces indicateurs comme celles en relation avec les échelles de temps auxquels répondent les différents processus écologiques, économiques et politiques. S'il ne faut que quelques années pour apporter des modifications aux pratiques pastorales existantes, par le biais notamment de subventions, il faut attendre bien souvent plusieurs dizaines d'années pour évaluer l'impact de ces mesures sur les végétations d'altitude.

Des besoins cartographiques ont également été soulevés lors de la rencontre de plusieurs gestionnaires d'espaces naturels. Dans le cadre de Natura 2000, la mise en place d'une cartographie physionomique de la végétation permet de mettre en relation les activités pastorales et les ressources fourragères. Pour répondre à cet objectif, le Cemagref a élaboré une méthodologie utilisant connaissances agro-écologiques d'un territoire et caractéristiques radiométriques des images satellitales. Les premiers traitements sur le Mercantour ont permis la cartographie de dix-huit types physionomiques (éboulis, pelouses, landes...). Ils restent cependant incomplets et de nombreuses confusions thématiques doivent encore être améliorées. Pour cela, l'apport de nouvelles parcelles d'entraînement issues de campagne de terrain et l'intégration de nouvelles images satellitales de fin d'estive apparaissent comme indispensables.

L'enjeu était également d'évaluer la contribution de cette cartographie physionomique dans la localisation probable de certains faciès agro-écologiques. Pour cela des croisements successifs ont été opérés avec différentes informations spatialisées (nature de la roche, altitude, pente...). Ils ont permis d'approcher la localiser quatre formations agro-écologiques retenues en fonction de leurs enjeux patrimoniaux (habitat d'intérêt communautaire) et de leur sensibilité aux pratiques pastorales.

L'ajout de certaines données au modèle (pluviométrie, formes topographiques...) devraient apporter des améliorations significatives à ces résultats de localisation. Il serait également intéressant d'aller plus loin dans l'utilisation du « spatial modeler » que la simple prise en compte dans les croisements de la présence / absence de certains facteurs. La pondération de ces facteurs les uns par rapport aux autres permettraient d'apporter un jugement sur la fiabilité de cette localisation.

BIBLIOGRAPHIE

ATEN, 1998

Le Tableau de Bord Géographique : rapport technique, Document de travail Stage Tableau de Bord Parcs Nationaux, 1998 – 21 p.

ATEN, TARNIUM, 2001

Retour des questionnaires EON 2000+ : Résultats bruts - ATEN, Montpellier, 2001 – 6 p.

ATEN, 2002

Réalisation des outils de l'évaluation – bilan des sites d'intérêt communautaires Natura 2000 - Rapport de la phase 1 : Etat des pratiques et besoins. – ATEN, Montpellier – 102 p.

BEISSON C., G.LIGNON et J.CLAUDIN., 2002

Etude de l'intérêt du tableau de bord géographique dans une démarche d'évaluation pour la connaissance et le maintien de la biodiversité, ATEN, Montpellier – 72 p.

BERNARD-BRUNET J., 2000

La télédétection satellitale au service de la gestion des pâturages d'altitude - Association française de pastoralisme, 2000. *Pastum*, hors série. La pastoralisme en France à l'aube des années 2000 – p. 223-229

BERNARD-BRUNET J., 2002

EON 2000+. Note de travail n°2 : Habitats pastoraux Mercantour – Cemagref de Grenoble UR AMM – 6 p.

BERNARD-BRUNET J., BORNARD A., JOUGLET J-P., FAVIER G., 1999

Le domaine supraforestier du Parc National de la Vanoise. Typologie et cartographie physiologiques des végétations d'altitude, par télédétection - Parc National de la Vanoise, Cemagref – AMM, Grenoble – 43 p.

BERNARD-BRUNET J., FAVIER G., BERNARD-BRUNET C., 2001

Cartographie physiologique par télédétection satellitale des végétations du domaine pastoral d'altitude du parc national des Pyrénées et estimation de ses ressources fourragères pour le pâturage. Rapport – Parc National des Pyrénées, Cemagref – AMM, Grenoble – 26 p.

BERNARD-BRUNET J., FAVIER G., JOUGLET J-P, LABONNE S., 1999

Estimation des ressources fourragères des unités pastorales d'altitude du Parc National des Ecrins, sur la base de la cartographie physiologique des végétations d'altitude par télédétection satellitale – Parc National des Ecrins, Cemagref – AMM, Grenoble – 25 p.

BERNARD-BRUNET J., JOUGLET J-P., 1992

Typologie régionale des pâturages d'altitude et procédures de classification des données SPOT et LANDSAT TM ; cartographie des résultats pour l'ensemble des zones écologiquement similaires – Cemagref , Grenoble, 1992 – 25 p.

BORNARD A., DUBOST M., 1992

Diagnostic agro-écologique de la végétation des alpages laitiers des Alpes du nord humides : établissement et utilisation d'une typologie simplifiée. *Agronomie*, n°12-8 – p. 581-599

CHAMIGNON C., 1990

Evaluation comparée des satellites à haute résolution spatiale en zone de moyennes et hautes montagnes méditerranéennes – Thèse de doctorat Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix – Marseille, facultés des sciences et techniques de Saint-Jérôme – 311 p.

CHAMIGNON C., CLAUDIN J., MANIERE R., 1988

Exemple d'application de la télédétection à haute résolution dans le cadre d'un parc national : utilisation des données multispectrales de SPOT 1 pour la cartographie de l'occupation du sol et le suivi phytosanitaire dans la zone centrale du Parc National du Mercantour, SPOT 1, utilisation des images, bilan, résultats - p. 653-660

CHAMIGNON C., MANIERE R., 1990

Forest cover type mapping and damage assessment of *Zeiraphira diniana* by SPOT 1 HRV data in the Mercantour National Park, *International Journal of Remote sensing*, 11 (8) – p. 1439-1450

CHERPEAU A., 1996

Télédétection et agro-écologie, un essai de cartographie destinée à la gestion des milieux herbacés de haute montagne : Application au Parc National des Ecrins. – Thèse, Grenoble – 209 p.

CLAUDIN J., LIGNON G., MEYER-ROUX S., 1996

Le tableau de bord géographique du Parc National du Mercantour. Une application de Corine Land Cover à la gestion des espaces naturels. In séminaire Corine Land Cover France : un nouvel outil au service de l'environnement et de la gestion de l'espace – IFEN, – p. 41-42

CLAUDIN J., 1997

La démarche de cartographie pour la gestion de l'espace « Parc National du Mercantour ». – in « La cartographie pour la gestion des espaces naturels », Actes des Rencontres Internationales, Saint-Étienne 13-17 novembre 1995 : Colloque « Typologies pour la gestion des milieux naturels et cartographies », ATEN, CRENAM, Cemagref Éditions – p. 307 – 313.

CLAUDIN J., BERNARD-BRUNET J., CHERPEAU A., 1997

L'expérience des Parcs nationaux français en matière de cartographie des milieux naturels. – In « La cartographie pour la gestion des espaces naturels », Actes des Rencontres Internationales, Saint-Étienne 13-17 novembre 1995 : Colloque « Typologies pour la gestion des milieux naturels et cartographies », ATEN, CRENAM, Cemagref Éditions – p. 29 - 40

COMMISSION EUROPEENNE, 2002

Natura baromètre : <http://europa.eu.int/comm/environment/nature/barometer/barometer.htm>, avril 2002.

COUDERCHET, 2000

Mise au point par télédétection satellitale et SIG d'une méthodologie d'inventaire normalisé des milieux naturels, selon corine-biotopes : l'exemple des Hautes-Vosges – article PHOTO INTERPRETATION n° 1999/3-4 – p. 28-30

COZIC P., 1991.

Typologie de la végétation pyrénéenne d'altitude. Communication au 4^{ème} Congrès international des Terres de Parcours. Montpellier. Poster et résumé.

DESBARATS M., 1999

Les Mélézins du Parc National du Mercantour : réflexion sur leur intérêt patrimonial, typologie et propositions de gestion – Parc National du Mercantour, Nice, 1999 – 114 p.

DIRECTIVE 92/43/CEE DU CONSEIL du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages + Annexes

Disponible sur Internet : <URL : <http://europa.eu.int/comm/environment/nature/habdirfr.htm>>

DUBIEN I., BARBUT L., BOUNI C., CATTAN A., 1998

Méthodologie pour l'évaluation et le suivi des prairies humides. Plan d'action pour les zones humides. Études préparatoires à la mise en place de l'Observatoire National des Zones Humides. ASca - MNHN-IEGB, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement – 42 p.

Disponible sur Internet : <URL : <http://www.ifen.fr/onzh/mnhn/prairie/prairie.pdf>

DUBOST M., 1985

Le programme Formations pâturées d'Altitude : un exemple de recherche en montagne. Bull. techn. D'Information. Ministère d'Agriculture N° 399-401 – p. 339-344

DUBOST M., BARBERO M., 1987

Un écosystème sylvo-pastoral original : les mélézins des alpes méridionales. - Communication au séminaire MAB sur les Dehesas et systèmes sylvo-pastoraux assimilés, Espagne – 19 p.

DUSFOURD M.L., 2002

Landes et pelouses en région méditerranéenne pour une gestion par le pastoralisme : Guide pratique – programme Life-Nature « gestion conservatoire de landes et pelouses en région méditerranéenne – Agence Méditerranéenne de l'Environnement (AME), Montpellier – 120 p.

ENVIRONMENTAL AGENCY, 2002

EON 2000+ : user requirements document, issue 1 – 69 p.

ERNOULT C., LABONNE S., 1997

Evolution de l'activité pastorale dans le Parc National du Mercantour entre 1972 et 1983 – Cemagref, Grenoble – 42 p.

ESTREGUIL C., MAGGI M., 2001

Preliminary considerations for the development of indicators for nature protection, joint research centre, deliverable 3, work package 2, European Commission – 26 p.

FU P., RICH P., 2001

Design and implementation of the Solar Analyst : an Arc View extension for modeling Solar radiation at landscape scales – Department of Geography GEMlab / KARS University of Kansas, Lawrence, USA – 25 p.

- GEOMEDITERRANEE, 2001
Cartographie de l'occupation du sol et des évolutions 1986-1998 du Parc National du Mercantour et de zone d'influence, Valbonne – 16 p.
- GIRARD M.C., GIRARD C., 1999
Traitement des données de télédétection : environnement – Dunod, Paris – 529 p.
- GUISAN A., THEURILLAT J.P., KIENAST F., 1998
Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. – In journal of vegetation science, 9 – p. 65-74
- HOERSCH B., BRAUN G., SCHMIDT U., 2001
Relation between landform and vegetation in alpine regions of Wallis, Switzerland. A multiscale remote sensing and GIS approach – Computers, Environment and Urban Systems, 26 (2002)- p. 113-139
- JOUGLET J.P., 1999
Les végétations des alpages des Alpes françaises du sud, guide technique pour la reconnaissance et la gestion des milieux pâturés d'altitude, Ed. Cemagref-ATEN – 206 p.
- JOUGLET J.P., COZIC P., 1997
Typologies et cartographies phyto-écologiques adaptées à la gestion des unités pastorales d'altitudes - In « La cartographie pour la gestion des espaces naturels », Actes des Rencontres Internationales, Saint-Étienne 13-17 novembre 1995 : Colloque « Typologies pour la gestion des milieux naturels et cartographies », ATEN, CRENAM, Cemagref Éditions – p. 109-118
- LAFFLY D., 2000
Combiner télédétection et SIG pour la cartographie de biotopes : application au Grand Tétraz dans le Jura – Société Environnement Territoire, PAU – Article PHOTO INTERPRETATION n° 1999/3-4 – p. 50-55
- LAMBERTIN M., 1987
Les écosystèmes d'altitude et le pâturage ovin. Éléments pour la gestion d'un alpage. Thèse d'Université – USTL Montpellier – Parc National du Mercantour, Nice
- LAMBERTIN M., 1999
Groupement végétaux d'altitude dans le Parc National du Mercantour. Phanérogames et cryptogames vasculaires des étages subalpins et alpins (correspondance avec les Directives Natura 2000 et Corine 1989) – Parc National du Mercantour, Nice – 175 p.
- LAURENT J.L., 1983
La carte des faciès paysagers du parc national du Mercantour, Parc National du Mercantour, Nice – 31 p.
- LOURY-GUIGAN N., 1984
Carte géomorphologique de reconnaissance au 1/25.000 du Parc National du Mercantour – Parc National du Mercantour, Nice
- MANIERE R., GIRAUD A., CLAUDIN J., 1984.
Application of satellite remote sensing and Geographic Information Systems of the management of natural resources in : Eighteenth International symposium on remote sensing of Environment, Paris, France, 1-5 – p. 1659-1669.
- MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE, 2002
Gestion contractuelle des sites Natura 2000 en application des articles r214-23 a r 214-33 du code rural, circulaire MATE, DNP, MAP.
- MOREL S., 2001
Aide à la cartographie des formations supraforestières. Couplage système d'information géographique et bases de connaissances : Application à un secteur du Parc National de la Vanoise – Cemagref de Grenoble UR AMM – 43 p.
- OLIVIER L., 2002
Elaboration d'indicateurs spatiaux de suivi des espaces naturels : Expérimentation sur le territoire de la Réserve Naturelle de Camargue – DEA Structures et Dynamiques Spatiales, Nice Sophia Antipolis.
- PARC NATIONAL DU MERCANTOUR, 1999
Document d'Objectifs, réseau Natura 2000, site pr 63 « le Mercantour »
- PARC NATIONAL DU MERCANTOUR, 2002
Atlas du parc National du Mercantour – Parc National du Mercantour, Nice – 80 p.

PERELMUTER N., 1997

Définition et caractérisation dans un SIG d'unités fonctionnelles pour la gestion des espaces protégés. Comparaison entre une approche thématique et statistique. Application au Parc National du Mercantour – Mastère SILLAT, Montpellier – 105 p.

SALANON R., GANDIOLI J-F., CLAUDIN J., MUSO J., 1982

Le programme de cartographie automatique en réseau de la flore et de la faune du Parc National du Mercantour (Alpes françaises du Sud) – In colloque International « Ecologie et biogéographie des montagnards et de haute altitude », Gabas – p. 343-350

SALLES E., 2001

Définition d'indicateurs spatiaux pour le suivi de l'état de conservation des habitats naturels. Application à la Grande Camargue – Cemagref, Montpellier – 108 p.

SEJALON S., 2002

Contribution à la définition d'une méthode pour l'évaluation de l'évolution des sites Natura 2000 : Application au Parc National du Mercantour (version provisoire) – GIP-ATEN, Montpellier – 48 p.

VALENTIN-SMITH G. & AL, 1998

Guide méthodologique des documents d'objectifs Natura 2000 - Réserves Naturelles de France / Atelier Technique des Espaces Naturels, Quétigny – 144 p.

VERNET D., ERNOULT C., 1997

Usages et activités dans les espaces pastoraux du Parc National du Mercantour. Convention cadre « gestion et territoires » - Cemagref, Grenoble – 45 p.

SITES INTERNET CONSULTES

Atelier Technique des Espaces Naturels : <http://www.espaces-naturels.fr/aten/site/>

Cemagref de Grenoble : <http://www.grenoble.cemagref.fr/grenoble/>

Directive Habitat / CEE : <http://europa.eu.int/comm/environment/nature/habdirfr.htm>

Ministère de l'écologie : <http://www.environnement.gouv.fr/>

Natura baromètre : <http://europa.eu.int/comm/environment/nature/barometer/barometer.htm>

Parc National de Pyrénées : <http://www.parcsnationaux-fr.com/pyrenees/default.htm>

Parc National du Mercantour : <http://www.parcsnationaux-fr.com/mercantour/default.htm>

Programme EON : <http://geospace.co.at/EON2000.html>

Réserves Naturels de France : <http://www.reserves-naturelles.org>

Téledétection : <http://www.roselt-oss.teledetection.fr>

ANNEXES

- ANNEXE N° 1 :** Calendrier de la mise en application de Natura 2000 en France
- ANNEXE N° 2 :** Banque de Données Géographiques du Parc National du Mercantour
- ANNEXE N° 3 :** Habitats d'intérêt communautaire présents dans le site Natura 2000 « le Mercantour »
- ANNEXE N° 4 :** Synthèse des pressions/menaces et recommandations pour chaque habitat retenu dans le cadre d'EON 2000+
- ANNEXE N° 5 :** Points forts des différentes rencontres des gestionnaires Espaces Naturels
- ANNEXE N° 6 :** Fiches de descriptions des questions structurantes
- ANNEXE N° 7 :** Modélisation de l'indicateur AREAp Végétation et de l'indicateur NJUC
- ANNEXE N° 8 :** La typologie physionomique : correspondances phytosociologiques
- ANNEXE N° 9 :** Emprise de la zone centrale et de la zone périphérique du Parc National du Mercantour sur l'image SPOT du 12 juillet 1998
- ANNEXE N° 10 :** Extrait de la Carte des écofaciès du Salso-Moreno / Parc National du Mercantour
Michel LAMBERTIN (Pastoralisme en montagne) - 1992
- ANNEXE N° 11 :** Légende de la cartographie physionomique de la végétation d'altitude du Parc National du Mercantour
- ANNEXE N° 12 :** Carte des types physionomiques de la végétation d'altitude du Parc National du Mercantour (vue d'ensemble)
- ANNEXE N° 13 :** Carte physionomique de la végétation de Sanguinière / Parc National du Mercantour
- ANNEXE N° 14 :** A. Carte de radiation globale du Parc National du Mercantour
B. Interface graphique du « Model Maker »