

BULLETIN MENSUEL
DE LA
SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE LYON

Siège social : 33 rue Bossuet, F 69006 LYON

Rédaction : R. ALLEMAND

Intérêt et limites de la télédétection spatiale (SPOT) pour la cartographie des structures de la végétation : l'exemple du massif du Vercors

Hugues Haack et Bernard Lacaze

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, C.N.R.S., Montpellier
Route de Mende, B.P. 5051, F 34033 Montpellier Cedex

Résumé. — Sur une zone d'étude de 10 km × 10 km, située dans le massif forestier des Coulmes (Vercors), sont comparées :

— une carte des structures de végétation (24 classes et leurs combinaisons en mosaïque) ;

— un essai de cartographie semi-automatisée à partir des données du satellite SPOT acquises le 22 mai 1986.

L'analyse des zones d'apprentissage définies sur la base de la carte des structures de végétation conduit au constat de la similarité des réponses spectrales de certaines classes. Une nouvelle typologie compatible avec les données SPOT est définie comprenant seulement sept classes (cinq classes de végétation V1 à V5, une classe « minérale », une classe « ombre »). Les résultats de la classification des données SPOT montrent une bonne reconnaissance des classes V1 (feuillus denses) et V3 (résineux denses). Deux autres classes sont composites (V2 = feuillus clairs, mélange résineux-feuillus, pins sylvestres, V4 = reboisements récents et landes herbacées). Enfin la classe V5 correspond essentiellement aux landes à dominante ligneux bas, mais l'ensemble des landes apparaît très hétérogène à la date considérée. Ces résultats montrent les limites de l'analyse des données SPOT monodate en zone forestière montagnaise.

Mots-clés. — Télédétection, Cartographie, Végétation, Forêts, Vercors.

The use of remote sensing data for vegetation structure mapping in Vercors area (French Alps)

Summary. — Considering a 10 km × 10 km study site located in the Coulmes area (Vercors, France), a comparaison is made between :

— a map of vegetation structures (24 classes and their spatial combinations) ;

— a computer assisted classification obtained from SPOT satellite data (22 may 1986).

From supervised analysis of training areas defined from the vegetation map, it can be observed that several classes have similar spectral responses. A new typology compatible with SPOT data is established with seven classes (five vegetation classes V1 to V5, a « mineral » class, a « shadow » class). Results from the classification of SPOT data indicate a good mapping accuracy for V1 (dense deciduous

Ce travail a fait l'objet d'une communication non publiée, présentée au 115^e Congrès national des Sociétés savantes, Avignon, 9-14 avril 1990.

Accepté pour publication le 2 juillet 1992.

forest) and V3 (dense coniferous forest). Two classes appear as composite: V2 (other deciduous, mixed forest, *Pinus sylvestris* L.) and V4 (recent reafforestation and herbaceous heathlands). The last class V5 corresponds mainly to heathland dominated by shrubs; but heathlands appear heterogeneous at the considered date. These results indicate the limits of SPOT monotemporal data in a mountainous forested area.

Key-words. — Remote sensing, Vegetation map, Forest, Vercors (French Alps).

I. — INTRODUCTION

L'étude de la structure de la végétation permet d'appréhender certaines caractéristiques majeures du fonctionnement des écosystèmes, comme celles qui régissent les bilans énergétiques et hydriques. Dans le cas des formations végétales d'altitude sous climat tempéré, il existe une grande diversité de structures horizontale et verticale résultant de l'adaptation aux conditions du milieu et de l'impact humain dû aux activités sylvopastorales. La photographie aérienne à grande échelle permet de cartographier les structures végétales sur la base d'une typologie détaillée des formations, contrôlée par des relevés de terrain. L'intérêt de la photo-interprétation pour la cartographie des formations végétales a été présenté et développé par HAACK (1983).

Maintenant nous disposons des données spatiales et en particulier celles du satellite SPOT qui permettent une autre approche de l'étude des formations végétales. Elles ont l'avantage de couvrir des zones beaucoup plus grandes que les photographies aériennes, de permettre ainsi un gain de temps dans l'interprétation et aussi de faire certains calculs (indice de brillance, indice de végétation, etc...) et d'obtenir des statistiques sur les résultats. La comparaison dans le temps est un autre avantage des prises de données par satellite mais elle n'est pas abordée dans cette étude. Les données satellite SPOT sont des valeurs de luminance dans trois canaux dont deux du visible vert (XS1) et rouge (XS2) et un dans le proche infrarouge (XS3). Contrairement à la photo-interprétation classique qui ne demande que peu de matériel, la télédétection spatiale exige des moyens informatiques suffisants.

L'analyse des données de la télédétection spatiale permet d'envisager une cartographie semi-automatisée de certaines unités de végétation. Le présent travail est consacré à la comparaison des résultats de la classification des données du satellite SPOT avec une carte des structures de la végétation établie préalablement par photo-interprétation (HAACK 1983).

II. — ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude est constituée par le massif forestier des Coulmes situé au nord ouest du Vercors, dans les Préalpes françaises. Il s'agit d'un grand plateau calcaire dont l'altitude varie de 900 à 1 470 m, entouré par une zone en contrebas située au-dessous de 900 m. Les séries de végétation présentes ont été décrites par FAURE (1968). Ce plateau est principalement recouvert par une hêtraie qui appartient à la série mésophile du hêtre. Depuis plusieurs années, d'importants reboisements en résineux ont été effectués. En bordure, dans la partie qui n'est pas dans l'étage montagnard, on trouve des chênaies de la série Delphino-jurassienne du chêne pubescent et du charme dominant dans la série collinéenne des bois mixtes. Les forêts sont traitées principalement en taillis; la majorité de ces taillis ont plus de cinquante ans d'âge.

III. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Photo-interprétation et cartographie des structures de la végétation

Nous avons utilisé des photographies aériennes panchromatiques à l'échelle du 1/30 000 (mission IGN 1975). Ces photographies utilisées en vision stéréoscopiques permettent d'identifier et de délimiter les principaux types physionomiques de végétation (forêts, landes, pelouses). Au niveau taxonomique, seuls feuillus et résineux peuvent être différenciés. En conséquence la définition des unités structurales a été établie à partir de critères applicables à tout type de formation végétale et facilement évalués sur les photographies aériennes. La physionomie et la structure verticale ont été codifiées en considérant séparément les constituants : herbacées, ligneux bas (inférieurs à 2 m) et ligneux hauts. La structure horizontale a été quantifiée en séparant trois classes de recouvrement : 0 à 15 %, 15 à 60 % et 60 à 100 %. Au total avec des critères complémentaires taxonomiques (feuillus, résineux), édaphiques et d'artificialisation, on aboutit à la définition de vingt-quatre unités de base (HAACK 1983). En prenant en compte la combinaison des unités (mosaïques), la cartographie établie à l'échelle de 1/25 000 a mis en évidence une cinquantaine de classes structurales (figure 4).

2. Analyse des données de télédétection spatiale

Les données utilisées proviennent d'une scène SPOT enregistrée le 22 mai 1986. Les données SPOT sont des données multibandes (trois canaux spectraux 500 à 590 nm, 610 à 680 nm, 750 à 890 nm). La tache élémentaire est de 20 m × 20 m. Nous avons analysé une imagerie de 512 × 512 pixels, soit environ 10 km × 10 km sur le terrain. Nous n'avons pas effectué de corrections géométriques ou radiométriques. La méthode de traitement est celle de la classification dirigée. Des zones d'apprentissage ont été définies à partir de la carte des structures de la végétation et repérées sur une composition colorée des canaux bruts éditée à la même échelle (1/25 000). Après analyse des réponses spectrales des zones d'apprentissage, une typologie simplifiée des formations végétales a été établie. Le résultat final est une carte obtenue d'après un algorithme de classement selon le critère du maximum de vraisemblance ; un lissage sur fenêtre de 3 × 3 pixels a été effectué pour éliminer les pixels isolés. Les traitements informatiques ont été réalisés en partie sur système micro-informatique avec le logiciel DIDACTIM et en partie sur le matériel disponible au Centre National Universitaire Sud de Calcul avec les logiciels HLIPS, STIMDI et UNIRAS.

IV. — RÉSULTATS

1. — Réponses spectrales des zones d'apprentissage définies d'après la carte des structures de la végétation

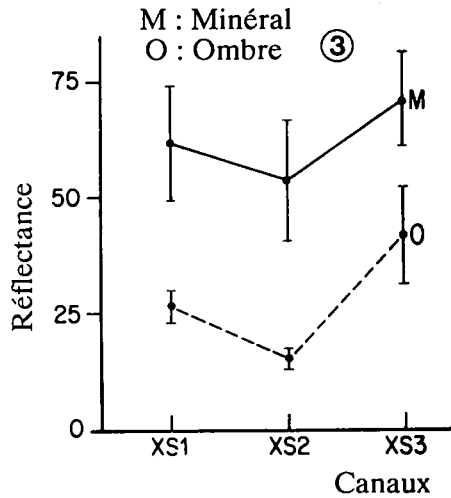
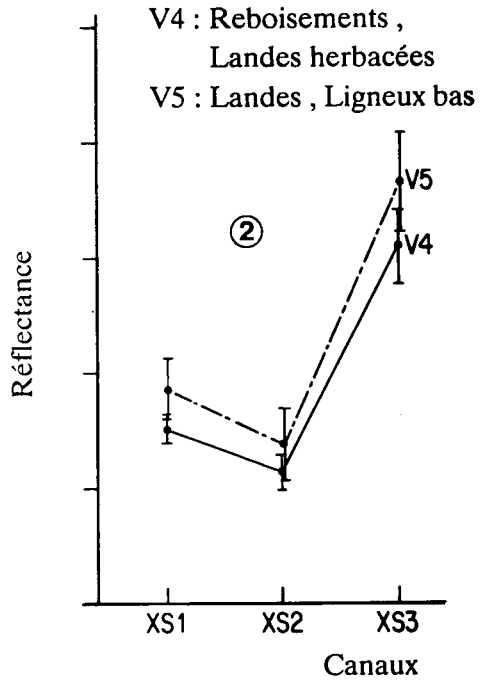
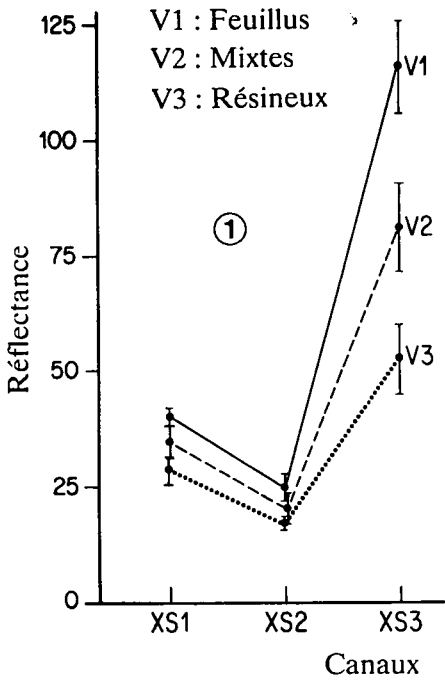
Parmi les vingt-quatre unités de base figurant sur la carte (fig. 4), nous en avons retenu dix-sept qui sont les plus représentées. Trois d'entre elles ont été subdivisées (résineux, feuillus, falaises). Le tableau 1 donne la définition de ces classes ainsi que le nombre de zones d'apprentissage repérées sur l'image et le nombre de pixels correspondant. Sur la carte plusieurs zones sont sélectionnées pour représenter chaque unité de végétation. Chaque zone est délimitée par un polygone inscrit à l'intérieur d'une unité cartographiée,

TABLEAU 1 : Définition des classes et des zones d'apprentissage.
Le code classe est celui figurant sur la carte (fig. 4).

Code classes	Définition	Nb de zones	Nb de pixels	Code classes	Définition	Nb de zones	Nb de pixels
1	Formations herbacées simples (prairies)	2	307	9A	Feuillus (hêtre)	4	1264
2	Formations herbacées avec ligneux hauts (moins de 15%)	3	334	9B	Feuillus (chêne pubescent)	2	1645
5	Formations herbacées avec ligneux bas (moins de 15%)	3	87	10	Mélange 1/3 résineux et 2/3 feuillus	2	165
6	Formations herbacées avec ligneux bas (15 à 60%)	3	223	11	Mélange 1/2 résineux et 1/2 feuillus (reboisements)	2	1680
7	Formations herbacées avec ligneux bas (plus de 60%)	4	138	12	Mélange 2/3 résineux et 1/3 feuillus	1	90
13	Formations de ligneux bas avec ligneux hauts (< 15%)	3	238	20	Eboulis	1	114
14	Formations de ligneux bas avec ligneux hauts (15 à 60%)	2	355	21A	Falaises éclairées	2	374
8A	Résineux (épicéa, sapin)	3	1761	21B	Falaises à l'ombre	3	561
8B	Résineux (pin sylvestre)	2	115	22	Cultures	4	300
				23	Vergers	3	196
				24	Bocages	2	600

TABLEAU 2 : Réponses spectrales des classes définies d'après la carte des structures de végétation (fig. 4).

Code classes	Moyenne			Ecart-type		
	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3
1+2	41,5	27,7	116,9	2,5	4,2	9,3
5	44,0	35,8	85,3	4,0	5,3	6,1
6	43,0	31,3	107,3	2,4	3,9	12,0
7	47,5	35,7	92,0	8,3	9,2	13,3
13	42,3	28,8	98,0	4,0	5,8	13,6
14	37,6	25,2	81,9	2,8	3,2	10,1
8A	28,9	17,5	53,4	1,9	1,5	7,3
8B	38,2	25,5	75,0	2,2	1,9	8,5
9A	39,9	24,4	119,1	1,5	1,7	8,6
9B	39,3	23,7	112,6	1,4	1,7	9,6
10	36,1	22,1	88,2	3,4	3,7	13,8
11	37,8	28,8	78,0	3,4	4,0	7,6
12	35,8	22,0	89,9	3,4	2,7	13,4
20	62,5	52,5	81,6	8,9	10,3	7,3
21A	61,7	54,1	68,2	13,6	15,2	10,5
21B	27,0	15,5	41,9	2,7	2,0	12,6
22	41,6	25,8	127,2	1,8	1,6	10,1
23	42,8	35,9	63,3	2,2	3,2	8,1
24	38,9	23,1	11,9	2,3	2,1	14,7



Figures 1, 2 et 3 : Réponses spectrales dans les trois canaux de SPOT pour la classification choisie.

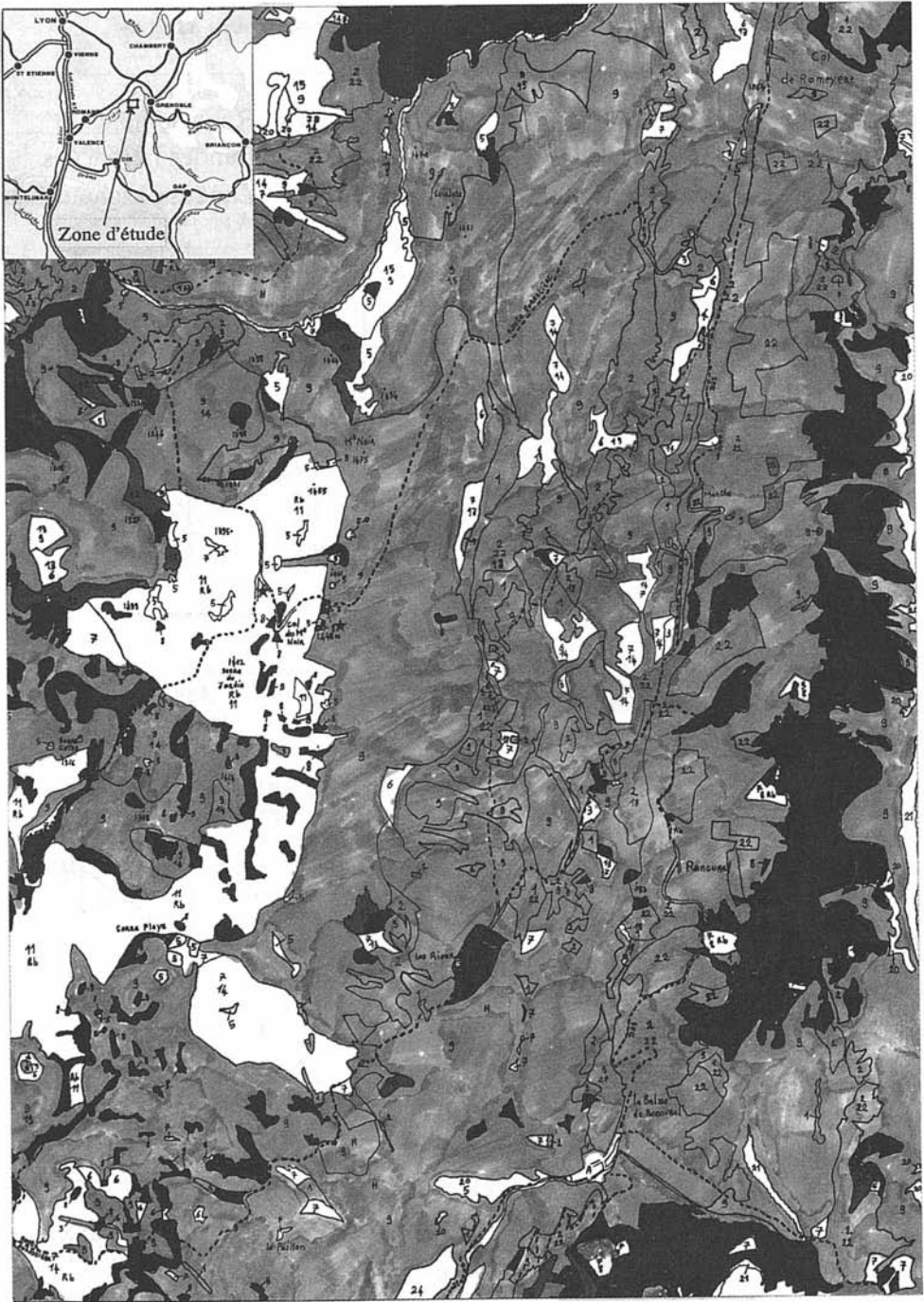


Figure 4: Carte simplifiée des structures de la végétation des Coulmes (Vercors) d'après des photographies aériennes de 175. Gris clair : V1, Gris foncé : V2, Noir : V3, Blanc : V4 + V5 + M + O + non classé.

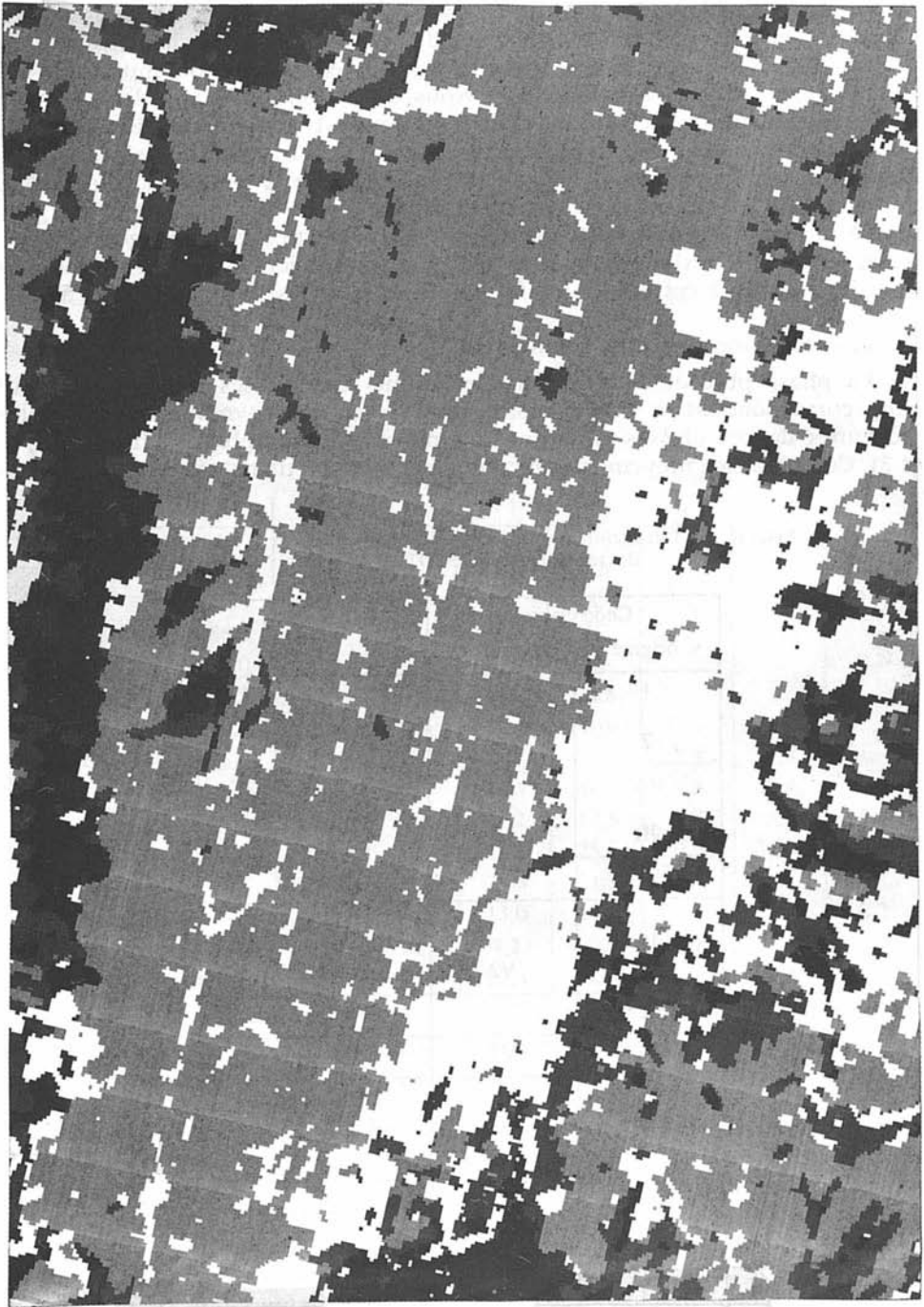


Figure 5: Résultat simplifiée de la classification des données SPOT (1986).

Gris clair : V1, Gris foncé : V2, Noir : V3, Blanc : V4 + V5 + M + O + non classé.

Bull. mens. Soc. linn. Lyon, 1993, 62 (6).

en évitant d'y inclure des limites. Ces zones, appelées zones d'apprentissage, servent à définir les réponses spectrales de référence pour la classification. Le tableau 2 présente les valeurs moyennes et les écarts-type obtenus pour ces classes dans les trois canaux SPOT. Nous constatons qu'il y a des réponses spectrales voisines pour certaines classes ce qui est confirmé par les distances interclasses (distance de type euclidien entre les centres des classes dans l'espace des trois canaux). L'analyse des tableaux 1 et 2 conduit à la nécessité de regrouper les classes structurales et amène à une typologie simplifiée présentée ici au tableau 3. Cette typologie tient compte des convergences spectrales existant à la date du 22 mai 1986 ; en particulier, il n'apparaît pas possible de séparer à cette date les feuillus denses et les prairies (figure 5).

2. — Classification des données SPOT

La phase précédente a permis de définir sept classes thématiques dont cinq correspondent à des formations végétales. Les réponses spectrales moyennes de ces classes sont données par sur les graphiques (figures 1, 2, et 3). Ces réponses moyennes sont obtenues à partir d'une sélection des zones

TABLEAU 3 : Définition d'une typologie compatible avec les données de télédétection (SPOT 22/05/1986).

Code classes		Définition
origine	regroupées	
1		Prairies
2		
9A		V1
9B		
22	Cultures	
10	V2	Mélange feuillus-résineux
12		Feuillus clairs
8A	V3	Résineux
11	V4	Reboisements (résineux jeunes)
5		Landes à dominante herbacée
6		
7	V5	Landes à dominante ligneux bas
13		
14		
21A	M	Minéral sols nus
21B	O	Ombres

TABLEAU 4 : Matrice de confusion pour les zones d'apprentissage.

Résultats Classification	Formations végétales					Minéral M	Ombre O	NC
	V1	V2	V3	V4	V5			
Classes d'origine								
V1	98,0	0,6	—	0,2	1,1	—	—	0,1
V2	4,7	81,5	6,9	1,1	3,2	1,6	—	1,1
V3	—	4,7	85,9	0,8	—	0,2	8,3	—
V4	—	3,5	—	89,7	5,4	0,8	—	0,6
V5	2,5	5,9	—	8,1	80,5	3,0	—	—
M	—	0,3	—	2,1	4,5	93,1	—	—
O	—	5,5	13,0	0,2	—	—	81,1	0,2

TABLEAU 5 : Matrice de confusion pour les zones tests.

Pourcentage de reconnaissance exacte : V1 : 79,8 - V2 : 59,8 - V3 : 85,0 - V4 : 58,6 - V5 : 18,0.

Résultats Classification	Formations végétales					Minéral M	Ombre O	NC
	V1	V2	V3	V4	V5			
Classes d'origine								
1	97,5	1,7	—	—	0,8	—	—	—
2	65,0	2,1	—	6,4	18,7	—	—	7,8
9A	86,7	11,1	—	—	2,2	—	—	—
9B	70,0	22,4	—	1,7	5,8	—	—	0,1
10	27,2	40,9	—	9,1	22,8	—	—	—
12	10,0	78,8	5,6	—	5,6	—	—	—
8A	—	3,8	85,0	1,2	—	7,5	2,5	—
8B	—	68,7	—	14,8	6,1	9,5	0,9	—
5	—	—	—	81,2	12,5	—	—	6,2
6	56,5	0,5	—	15,2	23,7	0,5	—	3,6
11	—	8,6	—	79,6	11,8	—	—	—
7	54,4	13,0	—	13,0	17,4	—	—	2,2
13	18,9	37,8	—	7,2	30,0	1,1	—	5,0
14	—	69,9	0,7	22,3	6,7	—	0,4	—

d'apprentissage, le reste étant conservé comme zones tests. La classification appliquée aux données SPOT (3 canaux), conduit à des résultats dont la fiabilité a été testée à la fois sur les zones d'apprentissage et sur les zones tests. La matrice de confusion du tableau 4 donne de bons résultats tandis que celle du tableau 5 donne des résultats plus difficiles à interpréter. Les pourcentages de reconnaissance exacte sont bons sur les zones d'apprentissage avec un taux moyen de 87 %. En ce qui concerne les zones tests, ces taux restent corrects pour la classe V1 et V2. La classe V2 apparaît représenter plusieurs thèmes (mélanges résineux-feuillus, certains feuillus comme le charme, pin sylvestre...). Il apparaît surtout une grande hétérogénéité dans les résultats des zones classées en landes par photo-interprétation et qui se dispersent en V1, V2, V4 et V5. Il semble donc ici que la typologie structurale des landes ne soit pas adaptée à une reconnaissance automatisée.

V. — CONCLUSION

Cet essai de classification a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

— A partir des données de télédétection, la typologie détaillée ne peut pas être utilisée entièrement pour la cartographie. Ceci rejoint les résultats de GAGNIER *et al.* (1988) obtenus sur d'autres types de milieux. Les différences de structures ne se traduisent pas toujours par des différences spectrales, par exemple : prairies-feuillus, landes plus ou moins arborées. Les différences observées semblent plutôt liées aux propriétés optiques des feuilles et au recouvrement global. La sensibilité des données SPOT au recouvrement global des arbres a été soulignée (LACAZE *et al.*, 1985 ; LACAZE, 1990). De même, KARASKA *et al.* (1986) ayant observé des réponses similaires pour les ligneux bas et les ligneux hauts combinent leurs pourcentages de recouvrement respectifs pour obtenir une typologie simplifiée compatible avec des données LANDSAT-TM.

— Cinq classes de formations végétales peuvent être séparées sur la base de leurs réponses spectrales à la date considérée ; mais une classe seulement qui comprend les résineux (sauf le pin sylvestre) correspond bien avec la classe cartographiée par photo-interprétation. Les autres classes sont composites ou bien elles sont inégalement reconnues comme par exemple les landes.

— Les limites apparues ici dans l'application des données de télédétection spatiale peuvent être dues à plusieurs causes :

* en premier lieu, le fait de n'utiliser qu'une date d'acquisition, limite fortement les possibilités de discrimination ;

* ensuite l'absence de corrections géométriques et radiométriques est elle aussi un handicap lorsqu'on s'intéresse à des zones montagneuses complexes ;

* malgré ces limites évidentes la cartographie simplifiée obtenue est satisfaisante pour certains thèmes comme par exemple les résineux denses et permet de différencier des unités de paysage sur la base de leurs complexités spatiales.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FAURE Ch., 1968. — Feuille de Vif XXXII 35. *Doc. Cart. Vég. Alpes*, Grenoble, VI : 7-69.
- GAGNIER F., LEMAIRE S., TAMISIER A. et LACAZE B., 1988. — Exploitation comparée des images satellite (Landsat TM et SPOT), et des photographies aériennes pour mesurer la distribution des différents types de milieux camarguais. *Bull. Soc. languedoc. Géogr.*, 22 (1-2) : 33-48.
- HAACK H., 1983. — *Recherches sur les structures spécifique, physionomique et spatiale des phytocénoses du parc naturel régional du Vercors*. Thèse de 3^e cycle, Université de Grenoble 1, 96 pp., 2 cartes.
- KARASKA M.A., WALSH S.J. and BUTLER D.R., 1986. — Impact of environmental variables on spectral signatures acquired by the LANDSAT Thematic Mapper. *International J. Remote Sensing*, 7 (12) : 1653-1667.
- LACAZE B., LAHRAOUI L., DEBUSSCHE G. et KHELFA A., 1985. — Analyse de mesures radiométriques de simulation SPOT en milieux méditerranéens aride et subhumide. *Proc. 3rd International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*, ESA SP-247 : 425-428.
- LACAZE B., 1990. — The relationships between remotely sensed vegetation indices and plant canopy properties. in : *Satellite remote sensing for hydrology and water management*, E.C. BARRET, C.M. POWER, A.M. MICALLEF eds, Gordon and Breach Science Publ., Montreux, Switzerland : 137-151.