

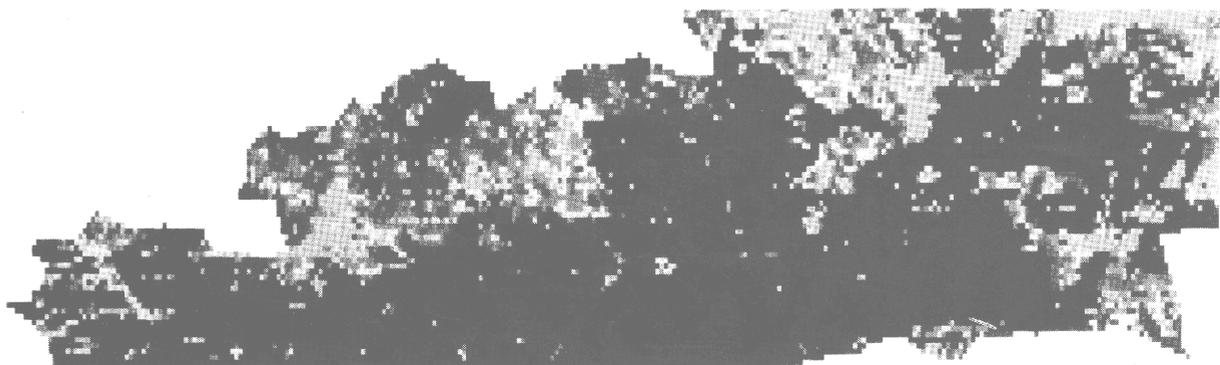
CENTRE D'ETUDE SPATIALE DES RAYONNEMENTS



CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE

DES UNITES ECOLOGIQUES DU PARC NATIONAL DES CEVENNES

PAR TELEDETECTION SPATIALE



Rapport final du contrat d'étude 1547 - 81 - 06 - ED ISP F
entre le Centre Commun de Recherche des Communautés Européennes (Ispra, Italie)
et le Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (CNRS-Université Paul-Sabatier, Toulouse, France)

EUR 8290 FR

JUILLET 1982

CENTRE D'ETUDE SPATIALE DES RAYONNEMENTS

CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE DES UNITES ECOLOGIQUES DU PARC NATIONAL DES CEVENNES PAR TELEDETECTION SPATIALE

**Contribution à la gestion du territoire du Mont-Lozère
et du Bougès Nord par une surveillance automatisée
des écosystèmes naturels.**

G. FLOUZAT

Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements.

**Rapport final du contrat d'étude 1547 - 81 - 06 - ED ISP F
entre le Centre Commun de Recherche des Communautés Européennes (Ispra, Italie)
et le Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (CNRS-Université Paul-Sabatier, Toulouse, France)**

CENTRE D'ETUDE SPATIALE DES RAYONNEMENTS

CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE DES UNITES ECOLOGIQUES DU PARC NATIONAL DES CEVENNES PAR TELEDETECTION SPATIALE

Contribution à la gestion du territoire du Mont-Lozère
et du Bougès Nord par une surveillance automatisée
des écosystèmes naturels.

G. FLOUZAT

Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements.

Rapport final du contrat d'étude
1547-81-06-ED ISP F
de la communauté Européenne de l'Energie Atomique.

OCTOBRE 1981 Référence : **EUR 8270 FR**

Equipe du Projet

R. DEJEAN, Section Biologie, P.N.C.
G. FLOUZAT, Groupe Télédétection, C.E.S.R.
T. GILLES-LAGRANGE, Groupe Informatique, C.E.S.R.
G. GIORDANO, Groupe Informatique, C.E.S.R.
M. PILET, Section Biologie, P.N.C.

C.E.S.R. Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements
B.P. 4346 - 31029 TOULOUSE CEDEX

P.N.C. Parc National des Cévennes
48400 FLORAC

Ce document est le résultat des travaux déjà présentés dans deux
rapports d'avancement intermédiaires :

1. Télédétection d'unités écologiques dans le Parc National des
Cévennes.

Rapport CESR n° 79-900 bis - Décembre 1979.

2. Cartographie automatique des unités écologiques du Parc National
des Cévennes par télédétection spatiale.

Rapport CESR n° 81-984 - Avril 1981.

SOMMAIRE

- I INTRODUCTION
- II OBJECTIFS ET METHODOLOGIE
 - II-1 Contexte général
 - II-2 Objectifs de l'expérience
 - II-3 Méthodologie
- III UNITES ECOLOGIQUES ET FORMATIONS VEGETALES ETUDIEES
 - III-1 Unités écologiques
 - III-2 Formations végétales
 - III-3 Données terrain disponibles
- IV EXTRACTION DE L'INFORMATION UTILE
 - IV-1 Extraction géographique de l'information
 - IV-2 Extraction de l'information spectrale
- V ETUDE DE L'HOMOGENEITE SPECTRALE DES UNITES ECOLOGIQUES
 - V-1 Description du test d'homogénéité spectrale
 - V-2 Résultats
- VI ETUDE SPECTRALE DES FORMATIONS VEGETALES
 - VI-1 Co-assistance spectro-temporelle
 - VI-2 Recherche des classes thématiques discriminables
- VII TRAITEMENT DES DONNEES ET CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE
 - VII-1 Méthode de classification utilisée
 - VII-2 Cartographie monotemporelle
 - VII-3 Cartographie bitemporelle
- VIII EVALUATION
 - VIII-1 Méthode d'évaluation
 - VIII-2 Evaluation de la cartographie monotemporelle
 - VIII-3 Evaluation de la cartographie bitemporelle.
- IX CONCLUSION

ANNEXE 1 : Observations stationnelles caractéristiques des unités écologiques.

ANNEXE 2 : Résultats numériques des tests d'homogénéité spectrale des unités écologiques.

R E S U M E

Ce rapport présente l'application d'un modèle de cartographie automatique de la végétation par télédétection à une partie du territoire du Parc National des Cévennes (France).

La démarche est supervisée et utilise 2 scènes Landsat 2 du 02-06-1978 et 06-10-1978. Son but est de contribuer à la cartographie des unités écologiques qui constituent les éléments fondamentaux de la gestion du Parc National.

La phase d'initialisation du traitement est largement développée par la caractérisation d'un nombre important de parcelles d'apprentissage. Des informations sur l'homogénéité des unités écologiques en sont ainsi tirées avant le classement des données.

Un ajustement des taxinomies thématique et spectrale conduit à une cartographie monotemporelle à 6 classes sur l'ensemble de la zone et une cartographie bitemporelle à 8 classes sur une partie plus réduite de la région observée.

L'évaluation de ces résultats montre une précision d'identification acceptable pour le type de milieu naturel étudié (65 %). Du point de vue global, la cartographie monotemporelle sur l'ensemble de la région conduit à des régions d'apparences homogènes qui pourraient indiquer des aires d'aménagement identiques.

Cette expérience démontre l'intérêt d'un modèle de procédure intégrant les caractéristiques des objets naturels considérés. En outre, elle fait apparaître que sa répétition serait particulièrement adpatée à l'étude de l'évolution des régions défavorisées et des milieux naturels en cours de transformation.

LISTE DES TABLEAUX

- 1 : Caractéristiques des formations végétales (extrait de la carte des formations végétales ; Godron, 1974)
- 2 : Espèces dominantes ligneuses (extrait des cartes des espèces dominantes ligneuses ; Godron, 1974)
- 3 : Caractéristiques spectrales de la zone dans les 2 scènes
- 4 : Unités écologiques et parcelles analysées
- 5 : Résultats numériques du test d'homogénéité sur les parcelles 0602 et 1103
- 6 : Schéma de la co-assistance spectro-temporelle dans le cas des unités écologiques
- 7 : Bornes radiométriques de la classification monotemporelle
- 8 : Composition thématique des taxons de la classification monotemporelle
- 9 : Bornes radiométriques en Juin pour la classification bitemporelle
- 10 : Bornes radiométriques en Octobre pour la classification bitemporelle
- 11 : Combinaisons des classes pour la cartographie bitemporelle
- 12 : Composition thématique des taxons de la classification bitemporelle
- 13 : Matrice des pixels bien classés de l'évaluation de la cartographie monotemporelle
- 14 : Matrice des sites bien reconnus de l'évaluation de la cartographie monotemporelle
- 15 : Matrice des pixels bien classés de l'évaluation de la cartographie bitemporelle
- 16 : Matrice des sites bien reconnus de l'évaluation de la cartographie bitemporelle.

LISTE DES FIGURES

- 1a : Localisation du Parc National des Cévennes
- 1b : Unités régionales du Parc National des Cévennes
- 2 : Carte des unités écologiques
- 3 : Visualisation de la zone Mont-Lozère Bougès-Nord (canal 5 = 02.06.1978)
- 4 : Localisation des points d'appui (amers)
- 5 : Mesures des décalages en lignes et colonnes entre les 2 scènes
- 6 : Distribution des valeurs numériques dans les 2 scènes
- 7 : Contour naturel et polygône de la parcelle 0602
- 8 : Localisation des polygônes
- 9 : Histogrammes des parcelles 1103 et 0602
- 10 : Visualisations des parcelles 1103 et 0602
- 11 : Histogramme et caractéristiques du polygône de la parcelle 0602
- 12 : Radiométrie des pelouses d'altitude
- 13 : Radiométrie des landes d'altitude
- 14 : Radiométrie des reboisements d'altitude
- 15 : Radiométrie des formations herbacées de moyenne altitude
- 16 : Radiométrie des landes à genêt purgatif
- 17 : Radiométrie des pineraies de Pins Sylvestres sur schistes
- 18 : Radiométrie des hêtraies
- 19 : Radiométrie des hêtraies-sapinières
- 20 : Radiométrie des reboisements de moyenne altitude
- 21 : Radiométrie des hêtraies-chênaies
- 22 : Radiométrie des pineraies de Pins Sylvestres sur granites
- 23 : Radiométrie des landes mixtes de basse altitude
- 24 : Radiométrie des parcelles sur l'ensemble de la zone dans la scène du 06-10-1978
- 25 : Radiométrie des parcelles pour la cartographie bitemporelle dans la scène du 02-06-1978
- 26 : Radiométrie des parcelles pour la cartographie bitemporelle dans la scène du 06-10-1978
- 27 : Principe de la méthode des bornes (ou hypercubes)
- 28 : Classes N et M obtenues par la définition des sous-classes n et m
- 29 : Sous-classes définissant une classe Cn par combinaison de 2 indices
- 30 : Zone couverte par la cartographie bitemporelle
- 31 : Limites des zones de même apparence.

INTRODUCTION

L'expérience de télédétection des unités écologiques dans le Parc National des Cévennes concerne la partie Nord du Parc = le Mont-Lozère et le versant Nord du Bougès. Elle a pour but de déterminer le degré de faisabilité de l'identification des unités écologiques par l'imagerie Landsat. Des données de deux dates sont utilisées pour bénéficier de l'information phénologique dans cette détermination.

Dans cette région défavorisée, la préoccupation essentielle est le maintien de la population tout en protégeant un environnement classé. Il s'agit donc de mettre en place une gestion compréhensive du territoire permettant d'accéder à ce compromis. Pour contribuer à cet objectif, un groupe d'études du milieu naturel est en cours de réalisation.

Ainsi, une action de recherche a été menée par le Parc National des Cévennes au sein du Programme Environnement de la Direction Générale XII de la Commission des Communautés Européennes (Rapport final : juin 1979). Elle concluait sur l'importance de la connaissance et de la prévision de l'évolution des unités écologiques. Une action sur l'apport de la télédétection dans ce domaine s'y intégrait donc parfaitement en bénéficiant des enseignements acquis et en apportant une contribution à la gestion du territoire par la définition des possibilités et des limites d'une méthode d'observation répétitive.

L'un des aspects traditionnels de cette contribution est la cartographie automatique du milieu naturel par traitement des images spatiales. Parallèlement, il apparaît qu'un apport essentiel de la télédétection peut être la connaissance de l'homogénéité apparente des unités écologiques. En effet, le critère de définition de ces unités fait appel à la notion d'évolution des paysages. Une éventuelle représentation figée de leur répartition ne permettrait donc pas de donner une information sur leur dynamique. Par contre, une analyse adaptée de leur homogénéité peut fournir des renseignements significatifs sur l'équilibre existant entre les formations végétales d'une parcelle de la même unité.

Ces informations sont obtenues au cours de l'expérimentation par l'application de la pré-assistance à un nombre de parcelles très supérieur au besoin habituel d'un échantillonnage. Ainsi, cet aménagement de la méthodologie conduit à des informations intermédiaires entre les résultats des études de terrain et de télédétection.

Cette expérience entraînant un bénéfice réciproque pour ces deux types d'étude menées sur le même site a fait l'objet d'un contrat de la Communauté Européenne de l'Energie Atomique. La convention a été passée entre la Commission des Communautés Européennes pour le Centre Commun de Recherche (C.C.R., Ispra) et l'Université Paul Sabatier pour le Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (C.E.S.R., Toulouse) (Contrat 991-78-12-SISPF). En outre, un contrat de collaboration a été établi entre le Centre Commun de Recherche et le Parc National des Cévennes (P.N.C., Florac) pour la fourniture de données terrain et l'aide à l'évaluation des résultats de la cartographie automatique obtenue.

Cette structure de travail constituait donc un contexte favorable à la réalisation de cette opération par le CESR en collaboration avec le P.N.C.

L'intérêt de ce projet est que les connaissances thématiques acquises pourront à nouveau être obtenues par une application de la même méthodologie. Ainsi, un programme de suivi de l'évolution de la végétation permettra d'évaluer les changements affectant les écosystèmes. Or, ces données constituent des éléments essentiels dans les procédures d'aménagement ou de protection du milieu naturel.

La télédétection des paysages végétaux, par la répétitivité, peut ainsi apporter une aide efficace dans la gestion d'un tel territoire. En effet, celle du Parc est d'autant plus délicate à mener qu'il est difficile de maintenir ou d'instaurer un équilibre entre les actions :

- de sauvegarde ou de protection de l'environnement,
- d'incitation et d'aménagement favorables à l'agriculture.

Une observation de l'évolution de la végétation aura donc pour conséquence d'aider à l'intégration réaliste de l'habitat humain (faible par le nombre mais important par l'emprise sur le milieu naturel) qui reste pratiquement le seul moyen de lutte contre la désertification de cette région.

Ce mémoire présente une synthèse sur le milieu étudié, la méthodologie retenue et les résultats obtenus dans cette expérience. Les différentes parties en sont :

- la présentation du contexte, des objectifs et de la méthodologie
- la définition des caractères écologiques et phytologiques de la zone

- l'extraction de l'information strictement utile dans les images
- l'étude des caractéristiques spectrales des unités écologiques
- la classification des données et les résultats obtenus.

L'ensemble des dispositions administratives, ainsi que la nature actuelle des expériences nécessaires dans ce domaine (voir I-1) font que cette action de télédétection s'insère logiquement dans les processus d'étude puis de décision concernant l'organisation de l'espace géographique du Parc National des Cévennes.

CHAPITRE II

OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

II-1 CONTEXTE GENERAL

II-2 OBJECTIFS DE L'EXPERIENCE

II-3 METHODOLOGIE

1. Stratification écographique
2. Extraction de l'information utile
3. Pré-assistance taxinomique et échantillonnage
4. Co-assistance spectro-temporelle
5. Classification
6. Evaluation.

II-1 CONTEXTE GENERAL

L'acquisition d'informations sur les paysages végétaux par télédétection se heurte actuellement à deux difficultés principales :

- 1 - la difficulté d'introduire automatiquement ou semi-automatiquement dans l'image un zonage ayant une signification écogéographique ou écologique ; ce qui entraîne l'application de traitements identiques sur des parties d'image où la signification de l'information détectée n'est pas la même.
- 2 - la difficulté d'établir des correspondances déterministes entre les nomenclatures conventionnelles décrivant un territoire et les nomenclatures obtenues en télédétection (même si la nouvelle nomenclature concerne l'intérieur de l'une des zones précitées).

Ces deux points représentent les domaines par lesquels doit passer la recherche thématique en télédétection pour obtenir de meilleurs résultats. Dans le cas présent, l'expérience de télédétection des unités écologiques dans le Parc National des Cévennes s'applique à une zone de physiographie homogène par rapport à son environnement biogéographique. Dans la perception des paysages végétaux tels que la présentent LONG (1969) ou BERTRAND (1972), la région retenue (Le Mont-Lozère, figure 1) peut ainsi être considérée comme un même secteur écologique (ou un même géofaciès). En effet, cette unité régionale du Nord du PNC qui découle de la définition de la zone centrale du Parc se trouve intérieure à la région naturelle qui la contient. Par conséquent, la signification des traitements numériques appliqués à l'image représentant la zone est admise comme équivalente sur l'ensemble du territoire étudié.

L'objet de ce programme relève donc du second point : il s'agit de la mise en oeuvre d'une méthodologie de cartographie des parties de ce territoire ayant des caractères écologiques ou phytologiques individualisés. Cette méthode est une procédure supervisée de traitement de l'image faisant appel à différents types de données de terrain. Son but est l'optimisation des correspondances entre signatures spectrales et classes thématiques significatives.

Par rapport à l'ensemble du système de télédétection concerné (du satellite à l'utilisation) cette expérience est volontairement concentrée sur la méthodologie d'exploitation thématique de l'imagerie. Elle ne prend donc pas en compte l'incidence sur les résultats :

- de corrections radiométrique et géométrique des images
- des performances possibles avec différents algorithmes de classification.

Ainsi, dans la perspective de l'organisation d'une surveillance, l'utilisation des images des futurs satellites d'observation de la terre (tels que Landsat D ou SPOT) lèverait les limitations de la méthode dues principalement aux caractéristiques géométriques des données.

Une amélioration de la qualité des images n'aurait donc que des conséquences positives sur les résultats obtenus mais n'affecterait en rien la démarche utilisée.

II-2 OBJECTIFS DE L'EXPERIENCE

Cette étude de télédétection du Parc National des Cévennes a pour objectif fondamental la détermination synoptique et répétitive des ressources forestières et pastorales du Parc et de leur évolution dans le temps.

Pour y parvenir, il convient de savoir s'il est possible de caractériser par ce moyen la répartition d'unités écologiques. En effet, l'identification de ces ensembles permet d'en connaître le type d'évolution puisque leur définition découle de la notion de dynamique de la végétation. La difficulté réside dans la discrimination des surfaces occupées par les différentes catégories d'unités au travers de leurs caractéristiques phytologiques actuelles. Ainsi, des physiologies voisines peuvent avoir des évolutions très différentes. Par exemple, une pelouse de moyenne altitude, stable parce que régulièrement pâturée, peut avoir une radiance voisine de celle d'une autre parcelle de la même unité écologique, occupée par un reboisement récent, et qui évolue donc vers la forêt. De même, deux formations de physiologies différentes peuvent être classées dans la même unité écologique si elles ont le même climax mais elles montreront des radiances différentes.

Pour répondre à son objectif fondamental, cette étude doit donc montrer la faisabilité de l'identification de ces unités écologiques. Elle doit apporter des connaissances thématiques :

- constituant un complément de celles déjà disponibles
- pouvant être mises à jour par répétition de la méthode.

L'imagerie utilisée est celle du satellite Landsat 2. Le choix d'images obtenues par satellite provient de la propriété qu'ont les véhicules spatiaux adaptés à l'observation répétitive de la terre de repasser sur la même région en reprenant la même orbite. Cette possibilité ouvre des perspectives intéressantes tant dans la réédition automatique d'une opération de télédétection que dans l'utilisation conjointe des images du même territoire à plusieurs saisons différentes. Ainsi, les surfaces observées à différentes dates peuvent se superposer par une méthode simple (IV-2), ce qui n'est pas le cas avec des données enregistrées par le même type de capteur depuis un avion.

II-3 METHODOLOGIE

La méthodologie de cette opération est une procédure supervisée d'exploitation de l'image. Elle est aussi appelée pré-assistée par VERGER (FRALIT, 1977). Ces termes désignent l'analyse thématique, la recherche des valeurs radiométriques significatives des thèmes étudiés et leur classification.

Cette approche est dite supervisée (pré-assistée) car elle nécessite un échantillonnage d'objets témoins représentatifs des cibles présentes et discriminables dans la zone étudiée. Il y a donc une phase d'apprentissage des signatures spectrales des objets au sol.

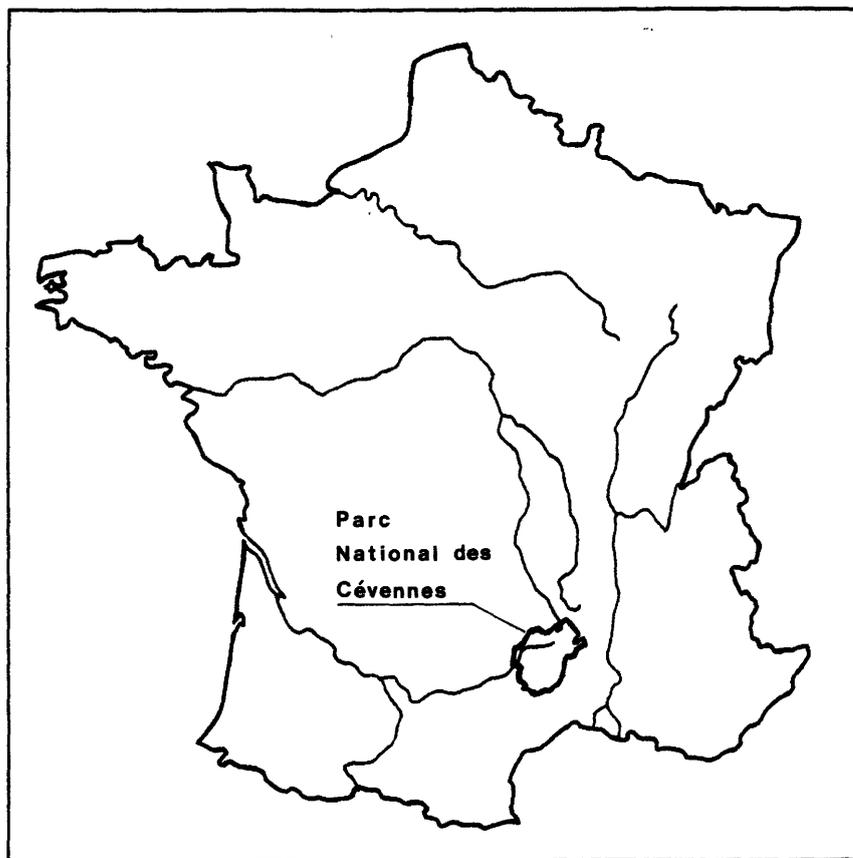


Figure 1 a : Localisation du Parc National des Cévennes.

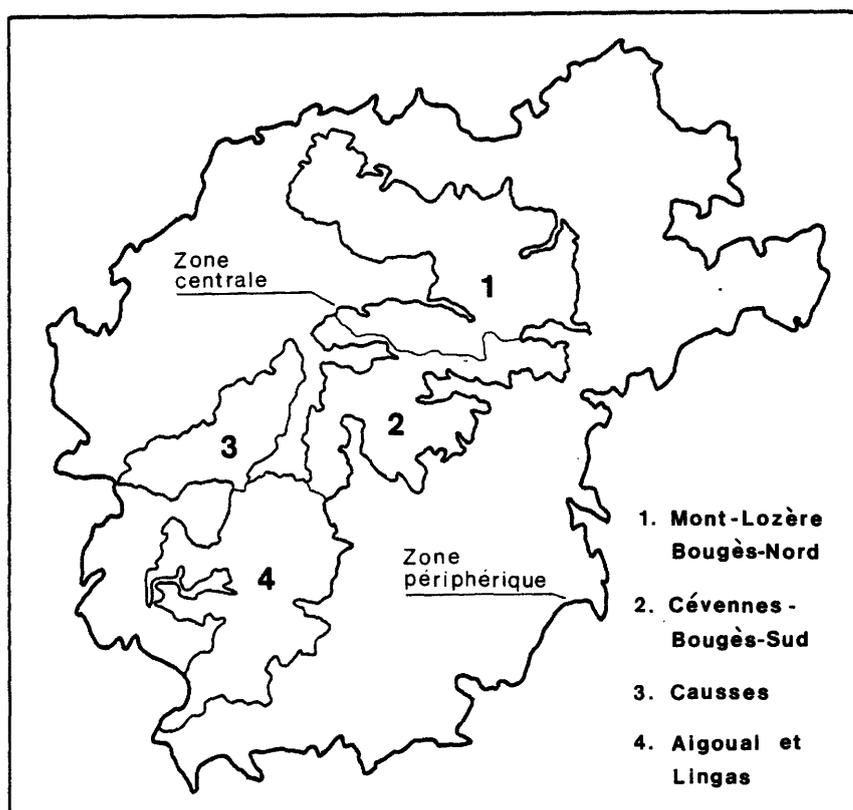


Figure 1 b : Unités régionales du Parc National des Cévennes.

Cette démarche s'oppose aux méthodes non-supervisées (post-assistées) où l'interprétation du résultat du traitement est postérieure à son exécution.

Les images utilisées ont été enregistrées à deux dates : ce sont la scène 212-29 du 2 juin 1978 et la scène 212 -29 du 6 octobre 1978. Ce choix découle d'indications sur la nature climatique de l'année 1978 dans les Cévennes et sur la complémentarité phénologique des deux saisons retenues.

Les résultats sont présentés sous forme cartographique et statistique. L'édition de cartes est une opération indispensable dans toute action concernant l'occupation des terres. L'échelle des documents doit être cohérente avec la résolution de l'information contenue et avec l'utilisation prévue.

Après l'évaluation des premiers résultats, il a été convenu de produire une cartographie monotemporelle (6 octobre 1978) de la zone étudiée à l'échelle du 1/100.000e. En effet, une classification bitemporelle de la totalité de la zone aurait été perturbée par les nuages présents sur les extrémités Est et Ouest du Mont-Lozère dans la scène du 2 juin 1978.

L'étude bitemporelle porte sur des parties d'image non perturbées qui ont été localisées en fonction :

- de la diversification et de l'imbrication des unités écologiques
- de la juxtaposition d'unités occupées par des formations végétales de physiologies voisines.

Les cartes obtenues par télédétection sur ces sites sont produites au 1/100000e .

La méthodologie supervisée généralement employée dans ce type d'expérience comporte trois phases :

- la pré-assistance écographique (délimitation préalable des zones de même raisonnement dans lesquelles les objets naturels recherchés ont des modes d'organisation constants),
- la pré-assistance taxinomique (définition thématique de sites d'apprentissage représentatifs de ces objets au sol pour la zone considérée),
- la classification (traitement des données attribuant les points de l'image aux classes thématiques en fonction de la similitude de leur radiance avec celle des échantillons).

Cependant, même si cette procédure a pu être appliquée typiquement sur des images Landsat pour un paysage donné (G. FLOUZAT, 1973), il est fréquent qu'une phase de co-assistance spectrale soit nécessaire pour parvenir à un résultat significatif. En effet, l'incohérence entre les nomenclatures levées sur le terrain et détectée par l'image entraîne la nécessité d'une procédure intermédiaire permettant d'adapter le choix des échantillons significatifs aux objets discriminables. En fait, c'est la nature de cette co-assistance spectrale qui conditionne la qualité de la correspondance entre classes spectrales et classes thématiques (LACAZE, 1978).

Dans le cas présent, la méthode se compose des phases suivantes :

1. Stratification écographique

Cette opération consiste à subdiviser la région étudiée en zones de même apparence. Les ensembles obtenus ne sont pas forcément homogènes mais la combinaison des éléments visibles du paysage y est constante. Sans admettre qu'il existe une correspondance biunivoque entre ce zonage et le découpage en régions, sous-régions ou secteurs écologiques (selon l'échelle), les zones ainsi définies sont souvent en rapport direct avec celles levées sur le terrain. Le raisonnement d'étude des paysages développé dans ces limites a ainsi une seule et même signification.

La réalisation de cette stratification peut être faite en tenant compte des caractères physiques ou des caractères biologiques du milieu. Mais dans le cadre d'une opération de télédétection, ce sont les données physiographiques des images utilisées qui, par interprétation, conduisent le plus naturellement à ce zonage (ALDRICH, 1967 ; LANGLEY, 1969).

Dans le cas de l'expérience sur le Mont-Lozère, le découpage effectué par le Parc National des Cévennes de son territoire en quatre unités régionales fournit cette première stratification (figure 1). L'examen des images Landsat montre une bonne correspondance entre les ensembles délimitables sur la même région et l'unité régionale du Mont-Lozère-Bougès Nord. Comme cela est indiqué en II-1, le site étudié peut donc être considéré comme définissant sa propre pré-assistance écographique.

2. Extraction de l'information utile

Cette phase a pour but de constituer un fichier contenant les données radiométriques strictement nécessaires à l'expérience. Elle nécessite deux opérations :

- l'extraction géographique de l'information utile
- le choix de l'information multidimensionnelle.

L'extraction géographique de l'information utile consiste à ne retenir que la partie d'image correspondant à la zone indiquée par la pré-assistance écographique. Dans le cas présent, ce site est l'unité Nord du Parc National des Cévennes dont la limite est introduite dans l'image Landsat pour en extraire la partie intérieure (procédure décrite en IV-1). Dans le cas général, cette opération doit être rééditée pour chacune des zones définies par la stratification préalable. Cette action élimine l'application de traitements numériques hors de l'espace géographique où ils sont significatifs. De plus, elle représente une économie de traitements inutiles.

Le choix de l'information multidimensionnelle consiste à ne retenir que les canaux les plus décorrelés et, par conséquent, les valeurs radiométriques les plus discriminantes. Dans cette sélection, il est admis que les canaux 5 et 7 des scènes Landsat apportent l'essentiel de l'information significative. Cependant,

un test sur les distributions des valeurs numériques des pixels dans les 8 bandes concernées est nécessaire pour justifier ce choix. Cette procédure est décrite en IV-2 où les figures 6a et 6b montrent la dynamique de l'image dans les 8 canaux et les similitudes entre les canaux 4 et 5 et les canaux 6 et 7 aux deux dates. Ainsi, le fichier de données contient un espace géographique en 4 dimensions spectrales et temporelles (canaux 5 et 7 de la scène 212-29 du 02-06-1978 et du 06-10-1978). D'une manière générale, cette sélection peut être nulle (c'est-à-dire conserver la totalité de l'information multispectrale) ou retenir des canaux différents selon la date.

3. Pré-assistance taxinomique et échantillonnage

Cette phase a deux fonctions principales. Elle fournit :

- la taxinomie souhaitée (ou disponible) pour décrire la zone étudiée.
- les échantillons possibles de ces taxons pour initialiser le traitement d'images.

Dans cette méthode supervisée, la nomenclature souhaitée est celle de la carte des unités écologiques du Mont-Lozère-Bouguès Nord (figure 2). Les taxons à échantillonner avec des parcelles d'entraînement sont donc disponibles avec la répartition des unités donnée par cette carte. La localisation de ces échantillons est effectuée en fonction des connaissances de terrain sur leur homogénéité structurale ou spécifique. En fait, le zonage du site représenté par la carte des unités écologiques n'indique pas automatiquement des échantillons à réponse spectrale homogène (puisque ces unités peuvent contenir différentes formations végétales comme il est rappelé en II-2 et décrit en III-1 et III-2). L'étude de cette homogénéité spectrale constitue donc l'essentiel de cette phase et indique les parcelles d'unités écologiques :

- pouvant être utilisées en totalité comme échantillons
- nécessitant une recherche d'échantillons représentatifs dans des formations végétales homogènes.

4. Co-assistance spectro-temporelle

La co-assistance spectrale et temporelle a pour but de définir la nomenclature thématique correspondant aux classes spectrales discriminables. Cela suppose la connaissance ou l'évaluation de la séparabilité numérique des classes de parcelles d'entraînement.

L'objectif de l'expérience étant la faisabilité de la cartographie automatique des unités écologiques, la co-assistance spectro-temporelle constitue une première approche de la détermination des classes thématiques identifiables en étudiant :

- la dispersion des réponses spectrales d'un même taxon de terrain (dans une même unité écologique).
- le chevauchement des réponses de différents taxons (appartenant à plusieurs unités écologiques).

Les classes spectrales ainsi décrites sont formées d'échantillons dont la taxinomie est connue, ce qui permet de leur attribuer une signification thématique.

5. Classification

La classification a pour but d'affecter les points appartenant à une classe spectrale définie par les échantillons à la classe thématique correspondante. Les algorithmes de classification font intervenir des hypothèses de distribution spectrale des populations de pixels qui peuvent être statistiques, géométriques ou arithmétiques.

Dans cette étude, la méthode utilisée est la méthode des bornes où l'hypothèse est arithmétique et ignore les propriétés des distributions des valeurs radiométriques des échantillons. Seules sont définies des bornes minimum et des bornes maximum qui, dans chaque dimension, sont les valeurs à l'intérieur desquelles se situent les valeurs échantillonnées. Tout point de l'image dont les valeurs sont comprises entre ces bornes est donc reconnu dans la nomenclature désignée par les échantillons. En outre, dans un canal donné, une classe peut être définie par plusieurs couples de bornes. Cette technique permet aussi d'effectuer des regroupements de classes spectrales pour former une classe thématique significative. Cette méthode des bornes est utilisée de façon interactive. Après la classification, différents contrôles peuvent être faits et indiquer de mauvaises attributions de points que la co-assistance spectrale n'a pu éviter. Un déplacement itératif des bornes entraîne une cartographie nouvelle.

Cette procédure interactive introduit une co-assistance numérique dans la phase de classification.

6. Evaluation

La méthodologie de cette expérience est complétée par les techniques d'évaluation des résultats de la classification.

L'évaluation globale utilise la comparaison des surfaces connues et des surfaces classées des mêmes objets. Elle délivre une première appréciation mais doit être complétée puisque deux superficies égales peuvent être réparties différemment.

L'évaluation spatialisée est la seconde technique utilisée. Elle consiste à construire une matrice de sondage obtenue par le relevé aux mêmes points géographiques de la nature de l'objet au sol et de sa classe résultant du traitement. Deux matrices de confusion sont ensuite calculées. La matrice des pixels bien classés provient de la répartition de 100 points d'une classe spectrale dans l'ensemble des classes thématiques. La matrice des sites bien reconnus provient des pourcentages de sites d'une même classe thématique dans les différentes classes spectrales. Les valeurs obtenues dans la diagonale des matrices indiquent la qualité du traitement alors que les autres valeurs permettent de définir la nature des objets mal classés.

Ainsi, l'ensemble des résultats cartographiques et statistiques donne le moyen d'apprécier la qualité de l'identification des unités écologiques et de leurs composantes phytologiques.

CHAPITRE III

UNITES ECOLOGIQUES

ET

FORMATIONS VEGETALES ETUDIEES

III-1 UNITES ECOLOGIQUES

III-1-a Critères d'identification des unités écologiques

1. Facteurs physiques
2. Facteurs biologiques

III-1-b Description des unités écologiques

1. Pelouse d'altitude
2. Lande d'altitude
3. Reboisement d'altitude
4. Formations herbacées de moyenne altitude
5. Lande à genêt purgatif
6. Pîneraie de pins sylvestres sur schistes
7. Hêtraie
8. Hêtraie-Sapinière et Sapinière
9. Reboisement de moyenne altitude
10. Hêtraie-Chênaie
11. Pîneraie de pins sylvestres sur granites
12. Lande mixte de basse altitude.

III-2 FORMATIONS VEGETALES

III-3 DONNEES TERRAIN DISPONIBLES.

Les unités écologiques du Mont-Lozère-Bougès Nord fournissent un premier moyen de pré-assistance et de co-assistance dans le traitement des images. Ce niveau de description du milieu est représenté au 1/50 000e et, étant voisin de la station écologique (selon LONG, 1969), permet le contrôle thématique de cette expérience. De plus, il existe une cartographie des formations végétales (GODRON, 1974) qui apporte un surcroît d'informations dans ce sens. Aussi, ce chapitre présente une description rapide de la zone étudiée par des synthèses sur les unités écologiques, les formations végétales et les autres données disponibles.

III-1 UNITES ECOLOGIQUES

Cette présentation des unités écologiques (figure 2) est faite à partir de la définition qu'en donne le Parc National des Cévennes (DEJEAN, 1977).

III-1-a Critères d'identification des unités écologiques

Trois groupes de facteurs interviennent dans la définition des unités écologiques. Les deux premiers sont physiques (le climat et la géologie) et le troisième est biologique (les formations végétales). Les facteurs physiques traduisent le milieu naturel en eux-mêmes et par les communautés végétales qu'ils conditionnent alors que le facteur biologique résulte à la fois du milieu et de l'action de l'homme sur ce milieu.

1. Facteurs physiques

La géologie est homogène = les granites occupent presque toute l'unité régionale (granites porphyroïdes entre 1000 et 1400 m et granites non-porphyroïdes au dessus de 1400 m). Les schistes sont principalement situés sur le versant Nord du Mont-Lozère, au-dessous de 1400 m et couvrent moins de 20 % de l'unité régionale.

Le climat intervient par le paramètre thermique. Une étude sur les climats des Cévennes (ROUSVOAL, 1973) montre que trois types thermiques peuvent être définis par des isothermes liés à l'altitude (entre 950 et 1200 m, la température moyenne est supérieure à 10°C pendant 4 à 5 mois ; entre 1200 et 1450 m la température moyenne est supérieure à 10°C pendant 3 à 4 mois alors qu'elle ne l'est que de 2 à 3 mois entre 1450 et 1700 m).

2. Facteur biologique

De par la nature des facteurs physiques, la distribution des formations végétales est fortement dépendante de l'altitude. En outre, des éléments locaux tels que la microtopographie et le régime hydrique du sol peuvent apporter des

variantes (internes aux unités écologiques) dans les combinaisons climat-sol.

Par ailleurs, les formations végétales sont affectées dans leur répartition et dans leur structure par l'action humaine (agriculture ou aménagement). Elles constituent donc naturellement le troisième critère d'identification des unités écologiques.

III-1-b Description des unités écologiques

Ces unités sont présentées dans l'ordre de la nomenclature cartographiée (fig. 2).

1. Pelouse d'altitude

La pelouse d'altitude est située entre 1400 et 1700 m sur les granites non-porphyroïdes et le Nard en est l'espèce dominante (surtout sur les sols de comportement hydrique moyen et dans les parcours de transhumance). Sur les sols de plus faible rétention d'eau, le Genêt pileux, la Callune, le Pied de chat ou le Jonc trifide concurrencent le Nard. Sur les sols plus humides, ce sont les Joncs et les Carex qui s'étendent (tourbières).

2. Lande d'altitude

La lande d'altitude provient de l'abandon du pâturage sur les pelouses d'altitude où la Callune, les Airelles et le Genêt pileux masquent la nardaie. En général, l'évolution conduit cette callunaie d'altitude et la nardaie à Genêt vers une lande basse à myrtille colonisée ensuite par le Pin à crochets, le Bouleau et le Sorbier des oiseaux (lande boisée).

3. Reboisement d'altitude

Il s'agit essentiellement de l'implantation du Pin à crochets. Accompagné de l'Epicea, du Pin Mugho, de hêtres, de sorbiers et de bouleaux, les conditions climatiques font que le Pin à crochets forme des peuplements pauvres et clairs à sous-strate de myrtille. Sur la pelouse ou la lande d'altitude, les plantations de Pin à crochets et d'Epicea ont un meilleur développement et s'étendent sur les zones abandonnées.

4. Formations herbacées de moyenne altitude

Ces formations sont floristiquement hétérogènes et s'intercalent, au point de vue floristique et physionomique, entre les pelouses à Nard et à Fétuque châtain. La pelouse typique à Canche flexueuse, Fétuque rouge et Agrostis est relativement favorisée par les feux sur les landes (en particulier, la Canche flexueuse).

PARC NATIONAL DES CEVENNES

Unité Régionale Mont-Lozère-Bouguès Nord

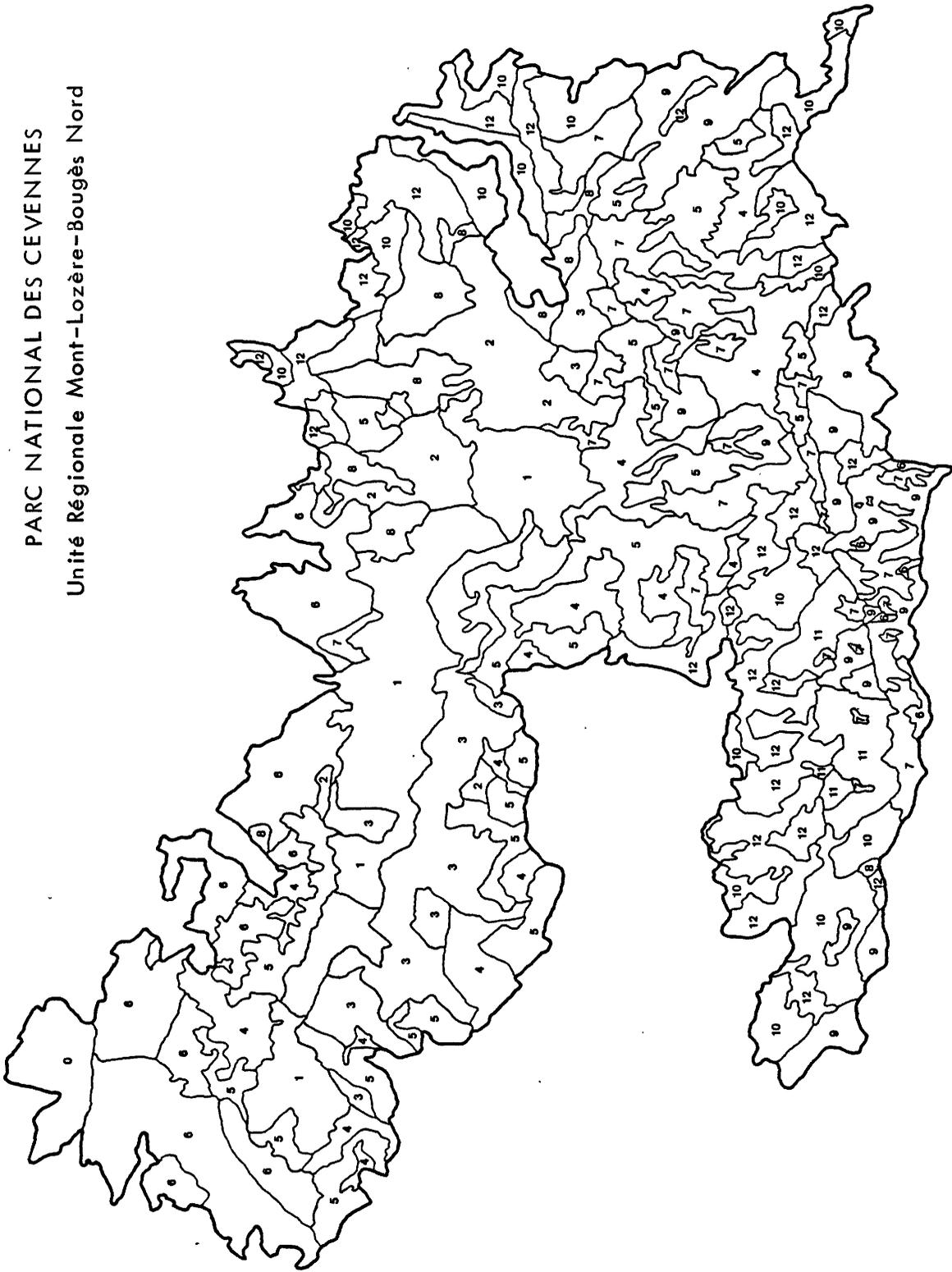


Figure 2 : Carte des Unités Ecologiques

5. Lande à Genêt purgatif

Cette lande a un développement important sur le versant Sud du Mont-Lozère entre 1200 et 1450 m où la régression du pâturage et les feux ont facilité l'extension du Genêt sur les pelouses. Sur le versant Nord, ces landes ont leur meilleur développement sur les sols granitiques et pauvres (landes à Genêts ou Cytisiaies). Sans perturbations, ces cytisiaies évoluent rapidement vers la lande boisée (Bouleau, Pin Sylvestre, Sorbier) puis vers la forêt (en 20-25 ans).

6. Pîneraie de Pins Sylvestres sur schistes

Les pins sylvestres sont installés naturellement sur les schistes dans les versants Nord et Ouest du Mont-Lozère (1200-1450 m) et colonisent les terres non pâturées. Le Bouleau est souvent présent aux deux limites d'altitude de cette pîneraie.

7. Hêtraie

La hêtraie se trouve sur le versant Nord (1200 à 1450 m) dans les fonds de vallées ou à la limite supérieure de la forêt dans des stations de mauvaise qualité. Sur les versants Sud et Est (sols granitiques), elle est la principale formation forestière alors que sa répartition est très réduite sur le versant Nord du Bougès.

8. Hêtraie-Sapinière et Sapinière

La hêtraie-sapinière se rencontre sur le granite des versants Nord et Est de 1200 à 1450 m alors que la sapinière n'occupe que les éboulis granitiques ou schisteux dans la même zone d'altitude.

9. Reboisements de moyenne altitude

Les reboisements sont effectués dans la zone forestière de la hêtraie, de la hêtraie-sapinière et de la sapinière entre 1200 et 1450 m. Les essences utilisées sont le Pin à crochets associé à l'Épicea sur les granites et l'Épicea associé au Sapin sur les schistes.

10. Hêtraie-Chênaie

La hêtraie-chênaie est localisée essentiellement sur granite dans des stations de qualité moyenne, sur des pentes assez fortes et à une altitude inférieure à 1200 m. Différentes espèces sont fréquemment associées dans cette unité : Frêne, Sorbier, Erable, Trembles, Bouleaux.

11. Pineriaie de Pins Sylvestres sur granites

Ces Pins Sylvestres occupent la majeure partie des granites sur le versant Nord du Bougès sous 1200 m d'altitude.

12. Lande mixte de basse-altitude

Des landes en mosaïques sont au contact de la lande à Genêt purgatif au dessous de 1200 m. Leurs physionomies sont intermédiaires entre la callunaie et la sarothamnaiie pures et occupent des espaces envahis par la Fougère aigle ou la lande à Bruyères.

III-2 FORMATIONS VEGETALES

L'aide à la pré-assistance et à la co-assistance provenant des données "formations végétales" est synthétisée par la carte des formations végétales citée plus haut (échelle : 1/50 000e). Ce document résulte d'études sectorielles et donne les caractéristiques physionomiques de ces formations en indiquant le recouvrement des ligneux hauts, des ligneux bas et des herbacées. En outre, des correspondances sont fournies entre ces formations et les formes végétales fréquentes ou typiques (Tableau 1). Dans ce découpage de l'unité régionale du "Mont-Lozère-Bougès Nord", des notations complémentaires marquent les espèces dominantes ligneuses (Tableau 2). Ces indications montrent la complexité des classes thématiques qu'il faut représenter par des classes spectrales. Cependant, la disponibilité de cette information permet d'envisager une utilisation efficace de la co-assistance spectro-temporelle.

III-3 DONNEES TERRAIN DISPONIBLES

Les descriptions des unités écologiques, des formations végétales et les cartes correspondantes forment un ensemble de données utilisables dans l'identification des paysages végétaux du Mont-Lozère. Les tableaux 1 et 2 synthétisent ces informations disponibles pour les formations végétales alors que le tableau 4 montre le nombre d'unités écologiques présentes dans la zone, et le nombre d'unités dont les caractéristiques spectrales sont étudiées (V-1).

En outre, trois types de données supplémentaires sont disponibles :

- les relevés floristiques effectués pour la carte des formations végétales et la carte des espèces dominantes ligneuses par le Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques (GODRON, 1974).
- les relevés floristiques effectués pour l'étude d'environnement de l'unité régionale "Mont-Lozère-Bougès Nord" par le Parc National des Cévennes (PNC, 1979).

CODE	FORMATIONS VÉGÉTALES	CARACTÉRISTIQUES DE LA FORMATION			FORMES VÉGÉTALES FRÉQUENTES OU TYPIQUES
		RECOUVREMENT DES LIGNEUX HAUTS (en % du R! GLOBAL)	RECOUVREMENT DES LIGNEUX BAS (en % du R! GLOBAL)	RECOUVREMENT DES HERBACÉES (en % du R! GLOBAL)	
1	Ligneuses hautes denses .	75 à 100	0 à 100	0 à 100	Forêts denses de Pins sylvestres ou de Hêtres .
2	Ligneuses hautes assez claires .	50 à 75	0 à 100	0 à 100	Forêts assez ouvertes de Bouleaux et de Pins sylvestres .
3	Ligneuses hautes claires .	25 à 50	0 à 10	0 à 10	—
4	Ligneuses basses claires à denses .	0 à 25	25 à 100	0 à 10	Callunaies fermées .
4'	Ligneuses basses très claires .	0 à 25	10 à 25	0 à 10	—
5	Herbacées claires à denses .	0 à 25	0 à 10	25 à 100	Tourbières _ nardaies _ prés _ cultures assolées .
5'	Herbacées très claires .	0 à 25	0 à 10	10 à 25	—
6	Ligneuses complexes .	25 à 50	10 à 100	0 à 10	Pineraies à sous-bois de Callune .
7	Complexes herbacées - ligneux hauts .	25 à 50	0 à 10	10 à 100	Accrués de Bouleaux _ vergers .
8	Complexes herbacées - ligneux bas denses	0 à 25	50 à 100	10 à 100	Callunaies assez ouvertes .
8'	Complexes herbacées - ligneux bas clairs	0 à 25	25 à 50	10 à 100	Callunaies herbeuses .
8''	Complexes herbacées - ligneux bas très clairs	0 à 25	10 à 25	25 à 100	Nardaies avec Myrtilles _ friches récentes .
9	Complexes herbacées - ligneux bas - ligneux hauts .	25 à 50	10 à 100	10 à 100	Coupes forestières _ bocages .
0'	Zone à végétation claire .	0 à 25	10 à 25	10 à 25	—
0	Zone à végétation très claire ou nulle .	0 à 25	0 à 10	0 à 10	Éboulis et rochers .

Tableau 1 : Caractéristiques des formations végétales
(extrait de la carte des formations végétales ; Godron, 1974).

ESPÈCES DOMINANTES LIGNEUSES HAUTES		ESPÈCES DOMINANTES LIGNEUSES BASSES	
A	Auline (<i>Alnus glutinosa</i>)	a	Callune (<i>Calluna vulgaris</i>)
B	Bouleau (<i>Betula verrucosa</i>)	b	Buis (<i>Buxus sempervirens</i>)
C	Pin à crochets (<i>Pinus montana</i>)	e	Bruyère (<i>Erica cinerea</i>)
D	Cèdre (<i>Cedrus atlantica</i>)	g	Genêt pileux (<i>Genista pilosa</i>)
E	Épicéa (<i>Picea excelsa</i>)	j	Genévrier (<i>Juniperus communis</i>)
F	Frêne (<i>Fraxinus excelsior</i>)	m	Myrtille (<i>Vaccinium myrtillus</i>)
G	Châtaignier (<i>Castanea sativa</i>)	x	Sarothamne (<i>Sarothamnus scoparius</i>)
H	Hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>)	y	Genêt purgatif (<i>Cytisus purgans</i>)
J	Peuplier (<i>Populus sp. pl.</i>) ou Tremble (<i>Populus tremula</i>)		
M	Pin maritime (<i>Pinus pinaster</i>)		
N	Pin noir (<i>Pinus laricio</i>)		
O	Alouquier (<i>Sorbus aria</i>)		
P	Pin sylvestre (<i>Pinus silvestris</i>)		
Q	Chêne sessile (<i>Quercus sessiliflora</i>) ou pubescent (<i>Quercus lanuginosa</i>)		
S	Sapin (<i>Abies alba</i>)		INDICATIONS PARTICULIÈRES
T	Noisetier (<i>Corylus avellana</i>)	f	Fougère aigle (<i>Pteridium aquilinum</i>)
U	Saule (<i>Salix sp. pl.</i>)	r	Ronciers (<i>Rubus sp. pl.</i>)
V	Chêne vert (<i>Quercus ilex</i>)	t	Zones tourbeuses (<i>Sphagnum sp. pl.</i>)
Z	Mélèze (<i>Larix decidua</i>)	R	Arbres fruitiers

Tableau 2 : Espèces dominantes ligneuses
(extrait des cartes des espèces dominantes ligneuses ; Godron, 1974).

- la couverture de la zone étudiée par une mission aérophotographique (panchromatique et infra-rouge noir et blanc) à l'échelle du 1/17 000e en 1977. Ces photographies aériennes ont l'intérêt de montrer à grande échelle un paysage peu différent de celui enregistré dans les scènes Landsat 2 du 2 juin et du 6 octobre 1978 puisque la région n'a qu'une agriculture extensive sans spéculations céréalières. Les différences importantes ne pourraient provenir que d'aménagements ou d'exploitations forestières qui seraient obligatoirement connus du PNC. Cette couverture a une double utilisation :
 - . l'aide à la co-assistance spectro-temporelle
 - . l'évaluation spatialisée des résultats de classification

L'ensemble de ces informations disponibles par la cartographie des unités écologiques et des formations végétales donne les moyens d'exécuter la pré-assistance taxinomique nécessaire à la réalisation de l'expérience. (Des exemples de données floristiques représentatifs des principales formations végétales sont donnés en annexe 1). Ainsi, les classes thématiques d'objets à étudier et à caractériser sont connues et la co-assistance spectrale et temporelle aura alors pour but de retenir les échantillons permettant d'ajuster les nomenclatures spectrales et thématiques.

A ces données de terrain disponibles, il est nécessaire d'ajouter quelques observations phénologiques correspondant aux dates de prises de vue.

La scène du 2 juin 1978 est enregistrée dans la période de pleine activité chlorophyllienne du cycle de végétation. En effet, la situation en altitude fait que cette phase est relativement retardée par rapport au déroulement en milieu plus tempéré. Les formations ligneuses sont donc à leur maximum de feuillaison, ce qui entraîne le taux de couverture du sol le plus important de l'année. Il est donc vraisemblable que les discriminations possibles à cette date concernent principalement les grands types de physionomie et se limitent à la distinction résineux-feuillus sur le plan spécifique.

Pourtant des essences feuillues n'ont pas atteint ce stade de la feuillaison à cette époque de l'année. Il s'agit des hêtraies et des chênaies qui sont situées au-dessus de 1300 m. Leur identification par l'utilisation de la scène d'octobre paraît donc possible. Cependant, comme ces formations installées à cette altitude sont finalement peu développées dans la région du Mont-Lozère et du Bougès Nord, cette éventuelle discrimination ne concerne qu'un territoire limité.

L'enregistrement de la scène du 6 octobre 1978 est effectué avant la période de défeuillaison. La phénologie des essences feuillues apporte donc peu d'information permettant de les discriminer. Par conséquent, les différences de radiance des formations ligneuses hautes dépendent essentiellement du mélange des diverses essences résineuses et feuillues. Les informations radio-métriques correspondantes ne permettent donc vraisemblablement pas de reconnaître ces différentes essences et seule, l'identification spectrale résineux-feuillus semble assurée. Par contre, il apparaît possible de séparer certaines formations évolutives comme les principaux types de landes ou certains reboisements. En effet, de telles structures de la végétation, plus ouvertes, ont sans doute une phénologie plus complexe pendant le cycle de végétation annuel que des formations stables.

Une autre source de données de l'étude bitemporelle provient des transformations dues aux activités pastorales. En effet, l'intensité du pâturage entre juin et octobre peut marquer différemment des formations ouvertes de landes et de pelouses comme l'indiquent les tests d'homogénéité.

L'apport de la phénologie semble donc limité, à priori, pour favoriser une meilleure discrimination des unités écologiques et des formations végétales. Cependant, la pression humaine par l'élevage paraît devoir fournir quelques indications supplémentaires.

CHAPITRE IV

EXTRACTION

DE

L'INFORMATION UTILE

IV-1 EXTRACTION GEOGRAPHIQUE DE L'INFORMATION

IV-1-a Extraction de la zone

IV-1-b Translation inter-scènes

IV-1-c Remarques

IV-2 EXTRACTION DE L'INFORMATION SPECTRALE

Ce chapitre décrit les procédures d'extraction des données qui seront utilisées dans l'expérience. L'extraction géographique de l'information se fait en deux phases successives : définition des coordonnées de la limite de la zone dans l'image du 02.06.1978 puis translation du système d'axes de l'image du 06.10.1978 dans celui de l'image de la première date. L'extraction de l'information spectrale se fait par comparaison des valeurs numériques des pixels et des histogrammes de ces valeurs dans les quatre canaux des scènes des deux dates. Le choix retient les dimensions présentant les meilleures dynamiques et les plus grandes décorrélations.

IV-1 EXTRACTION GEOGRAPHIQUE DE L'INFORMATION

IV-1-a Extraction de la zone

L'extraction de l'information utile dans cette expérience est faite par introduction de la limite de la zone d'étude dans l'image Landsat. Cette donnée extérieure par rapport à la scène utilisée (puisqu'extraite d'une carte topographique) est obtenue sous forme de coordonnées géographiques par une numérisation séquentielle.

La méthode (FLOUZAT, 1978 et 1979) consiste alors à superposer les axes de la carte contenant le contour à ceux du balayage radiométrique de l'image. Cette superposition nécessite une rotation amenant dans les mêmes directions les axes de la carte (N-S et E-O) et les axes orthogonaux de l'image (lignes-colonnes). Ensuite, l'identification des points du contour dans l'image se fait par la transformation de leurs coordonnées réelles sur la carte en coordonnées entières de l'image à partir d'un amer de référence. Cette opération résulte des produits des échelles respectives affectées des deux facteurs orthogonaux définis par la résolution géométrique du capteur dans le sens de la trajectoire^{et} dans le sens du balayage radiométrique ($x \times 57 \text{ m}$; $y \times 79 \text{ m}$).

Cette superposition permet donc de localiser les points formant la limite de la zone dans l'image et d'en déterminer les coordonnées en numéro de ligne et de colonne. Le tri de ces points selon les ordonnées croissantes puis selon les abscisses croissantes pour une même ordonnée conduit à un tableau où, pour une ligne :

- un point de rang impair est un point d'entrée dans la zone
- un point de rang pair est un point de sortie de la zone
- un point double (tangent) est à la fois point d'entrée et point de sortie.

Les points intérieurs ainsi définis sont retenus et forment la partie d'image correspondant à la zone étudiée.

L'erreur introduite par cette méthode (avec des images standard) dans la mesure de surfaces peut être appréciée par le résultat ci-après concernant la superficie totale de la zone étudiée.

Mesure Zone	Surf. cadastrée	Surf. mesurée		Différence	
	ha	Pixels	ha	ha	%
Mont-Lozère	33.519	76.036	33.698	179	0,53

La figure 3 montre une visualisation de l'image extraite à l'intérieur de la limite de la région concernée (canal 5 du 2 juin 1978).

L'aspect d'économie de traitement réalisée peut également être chiffré. En effet, le rectangle d'image qui inscrit exactement l'unité régionale "Mont-Lozère-Bouguès Nord" et qu'il faudrait traiter pour contenir cette zone fait 597 colonnes sur 260 lignes. Le tableau ci-dessous compare ces surfaces.

Méthode	Fenêtre rectangulaire		Zone délimitée		Différence	
	Pixels	ha	Pixels	ha	ha	%
Surfaces	155.220	69.895	76.036	33.698	36.197	93,09

Le traitement de la fenêtre incluant la zone d'étude aurait donc nécessité la manipulation de deux fois plus de données que la quantité utile.

IV-1-b Translation inter-scènes

L'extraction de la zone étudiée dans la seconde scène est obtenue par translation. En effet, la procédure de rotation et translation est évitée par application d'une translation aux pixels de l'image de la seconde date. Cette opération permet de replacer les points élémentaires de cette image dans le même repère que ceux de la première date. Les points intérieurs de la zone sont alors connus puisque les coordonnées de la limite ont été identifiées dans le système d'axe de la première scène.

Pratiquement, cette démarche consiste à déterminer le vecteur de translation nécessaire qui existe entre les coordonnées des pixels de la seconde scène et celles des points correspondants dans la première scène. Pour évaluer cette translation, des points de repères géographiques sont identifiés sur des visualisations de ces images.

Ce repérage de points homologues est effectué sur le même canal dans les deux scènes. Il est relativement aisé puisque les structures interprétables ont généralement des configurations géométriques stables (limites forêt-pelouse, lande-prairie, lande-roche nue, angles sur des lignes de thalwegs ou des bords

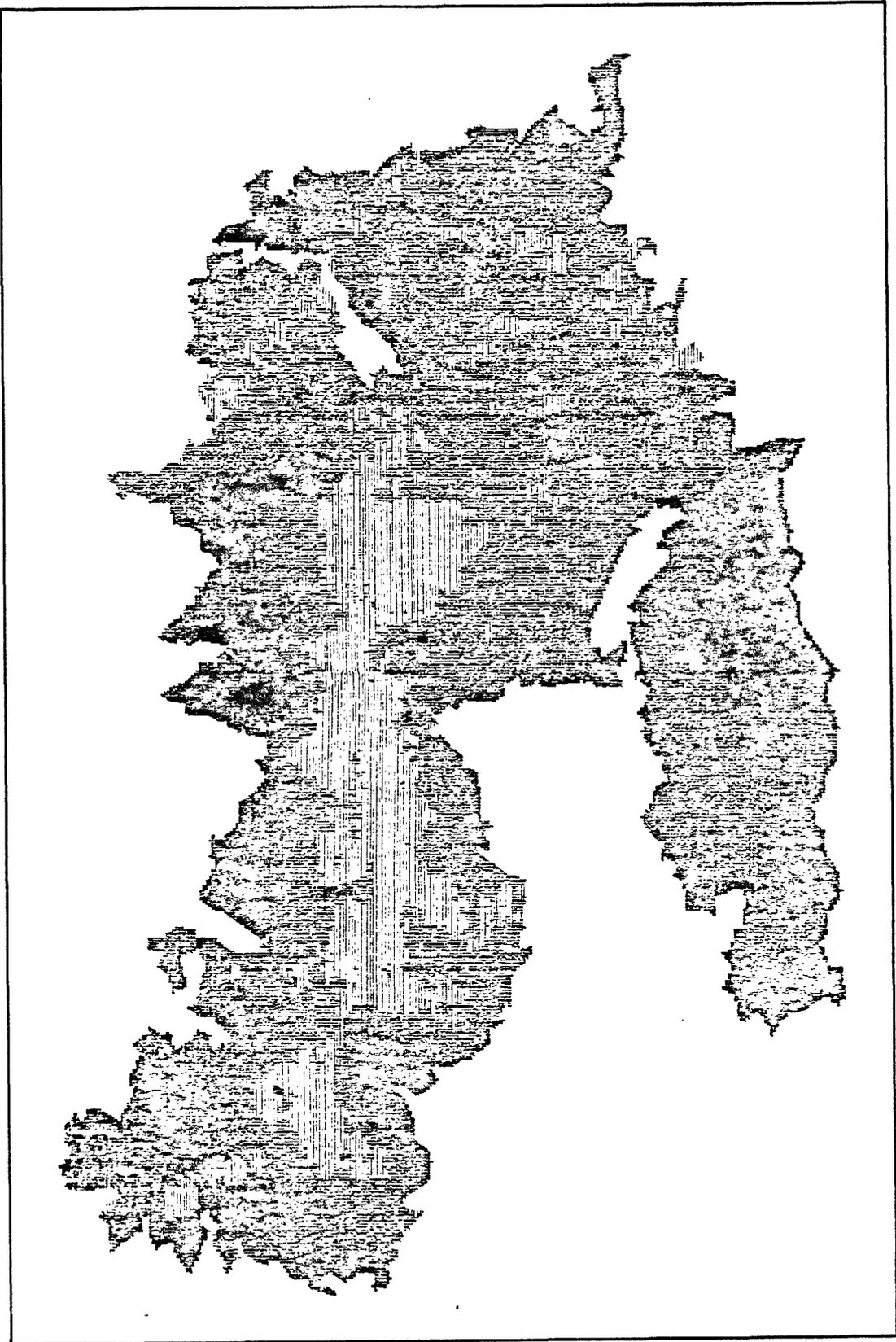


Figure 3 : Visualisation de la zone Mont-Lozère - Bougès Nord (canal 5 = 02-06-1978).

de forêt, etc...). En outre, cette identification n'implique pas la recherche des coordonnées géographiques correspondantes qui constitue souvent la phase difficile dans la détermination des amers. Dans cette procédure, 25 valeurs de différences d'ordonnées (dL en lignes) et d'abscisses (dC en colonnes) ont été notées sur la zone dont les dimensions extérieures sont de 20.540 m en lignes et 34.029 m en colonnes. La figure 4 donne la position de ces points et les coordonnées de l'amer de référence pour le contour.

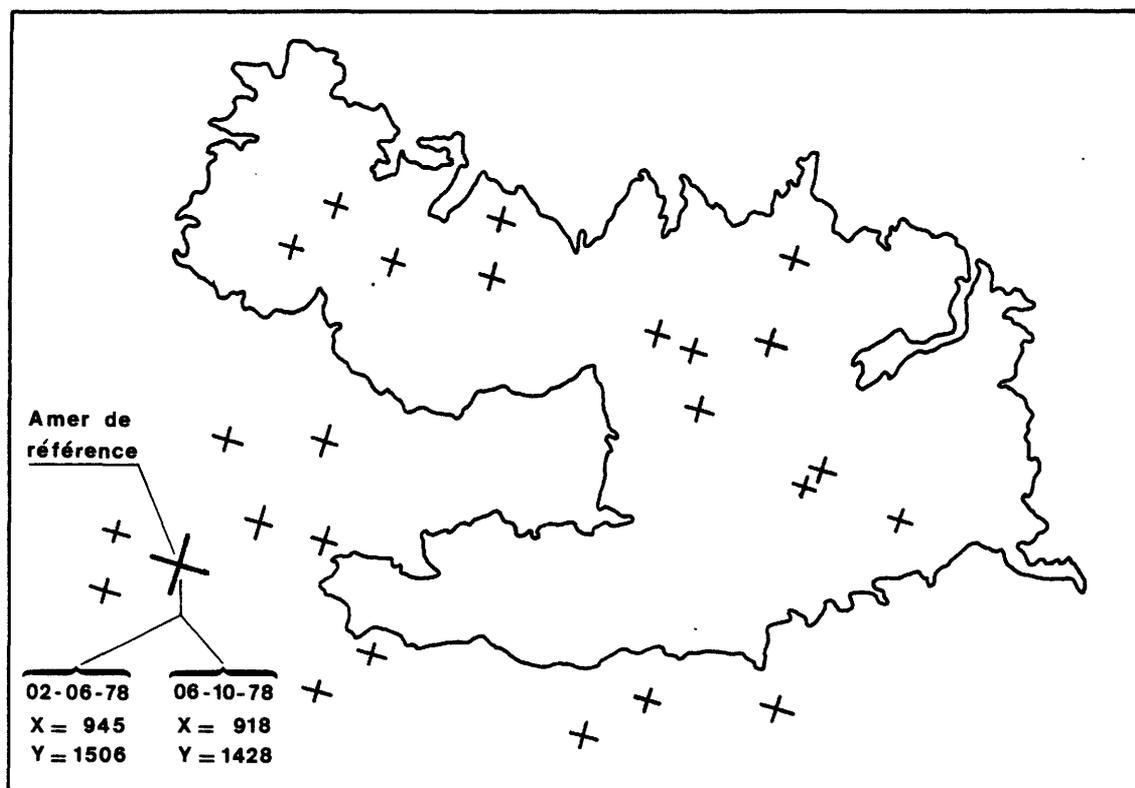


Figure 4 : Localisation des points d'appui (amers).

Chaque couple de 2 points représente donc le même lieu au sol. Les coordonnées correspondantes (x_1, y_1 et x_2, y_2) définissent ainsi un vecteur ($dC = x_1 - x_2$; $dL = y_1 - y_2$) permettant de superposer les deux scènes par un décalage en lignes égal à dL et en colonnes égal à dC. L'ensemble de ces repérages conduit à deux distributions de mesures dont les moyennes fournissent dL et dC définitifs (figure 5) :

$$\begin{aligned} dL &= 78 \text{ lignes} \\ dC &= 27 \text{ colonnes} \end{aligned}$$

L'application de cette translation aux coordonnées des points de la seconde image permet donc d'en connaître les pixels couvrant exactement la zone étudiée.

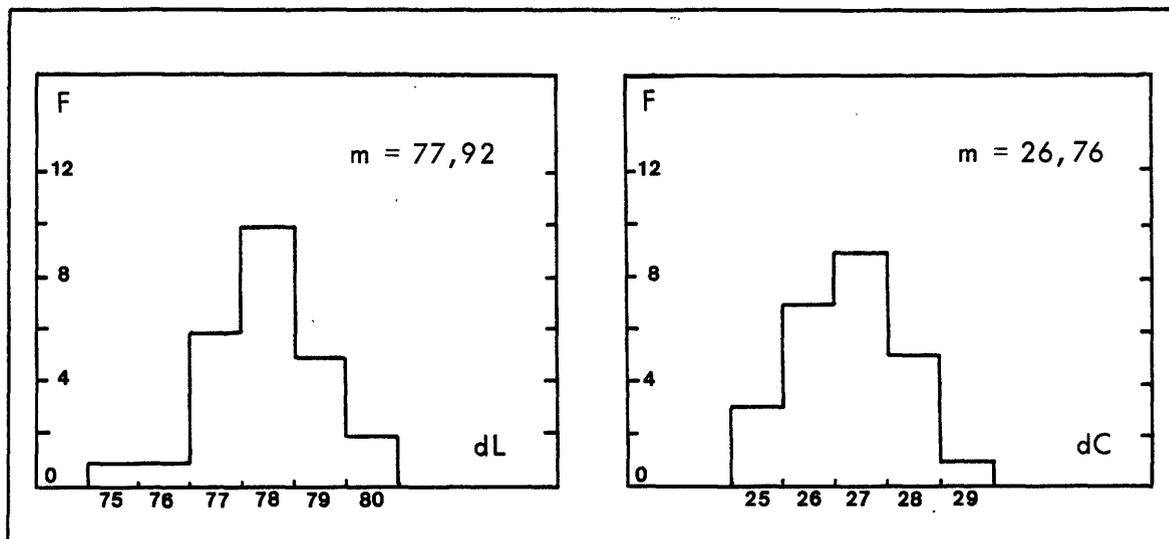


Figure 5 : Mesures des décalages en lignes et colonnes entre les 2 scènes.

IV-1-c Remarques

Plusieurs observations doivent être faites quant au domaine de validité et à la précision de cette méthode.

En premier lieu, la qualité de la localisation du contour dans l'image est fonction de la qualité géométrique de cette image. Celle-ci est conditionnée par :

- l'attitude du satellite pendant l'enregistrement
- la photogrammétrie du radiomètre à balayage
- la topographie du site observé.

En second lieu, la superposition de deux scènes (ou parties de scènes) est également tributaire de ces déformations possibles mais se trouve aussi affectée par la position de la zone par rapport à la trajectoire.

Or, la méthode d'extraction géographique suppose que les paramètres d'orbite sont stables et que seul un décalage parallèle entre les trajectoires correspondant aux deux scènes est possible. Les résultats sur les mesures de surfaces montrent pourtant que ces postulats sont acceptables.

Cependant, il se dégage actuellement des perspectives pour la production d'images satellite standard corrigées géométriquement selon :

- les variations d'attitude du véhicule
- les modèles numériques de terrain.

De telles images permettront donc une utilisation fiable de cette méthode sans en changer son principe.

IV-2 EXTRACTION DE L'INFORMATION SPECTRALE

L'extraction de l'information spectrale strictement utile peut être effectuée par la technique traditionnelle : analyse factorielle de la partie d'image concernée montrant les corrélations entre les différents canaux. Cependant, dans l'optique thématique de cette expérience, c'est une méthode plus légère de décision qui est utilisée. En effet, la répétition de l'opération ne doit être pénalisée par un prétraitement des données plus important que la classification. Ainsi, l'emploi et l'interprétation des histogrammes des valeurs numériques qui sont nécessaires par ailleurs (visualisation et repérage) permettent d'exécuter la sélection multispectrale.

Dans toute étude de ce type, les histogrammes sont construits (figure 6a) pour la scène du 02 juin 1978 et (figure 6b) pour la scène du 10 octobre 1978. Il apparaît immédiatement que les canaux 4 et 5, d'une part, et les canaux 6 et 7, d'autre part, ont des caractéristiques de forme et de position sur l'axe des valeurs numériques qui sont voisines. Cette observation est valable pour les deux dates et se trouve confirmée par les caractéristiques de ces distributions (tableau ci-dessous). Un test complémentaire confirme ce fait : il s'agit de la définition des bornes d'écart minimal contenant 66 % de la population de ces histogrammes (voir V-1-c). Les valeurs en sont également données dans le tableau suivant (tableau 3).

Canal	Histogrammes				Test des bornes 66 %			
	moy.	écart type	min.	max.	borne min.	borne max.	pt. moy.	écart
Juin								
4	51,0	14,97	25	255	39	59	49	10
5	47,3	20,05	11	255	27	51	39	12
6	104,25	25,73	16	255	85	127	106	21
7	101,07	24,35	17	253	76	117	96,5	20,5
Octobre								
4	25,64	7,52	8	67	17	30	23,5	6,5
5	25,23	12,97	1	84	11	37	24	13
6	57,78	18,32	1	130	38	72	55	17
7	63,22	18,10	5	149	47	80	63,5	16,5

Tableau 3 : Caractéristiques spectrales de la zone dans les 2 scènes

Ces bornes permettent de localiser la partie significative des populations observées en éliminant les valeurs particulières et aberrantes. Le point moyen entre ces bornes indique souvent mieux la zone des fréquences maximum que la moyenne statistique ; cette localisation du mode est particulièrement visible dans le canal 5 de l'image du 02 juin 1978 (voir tableau 3 et figure 6a).

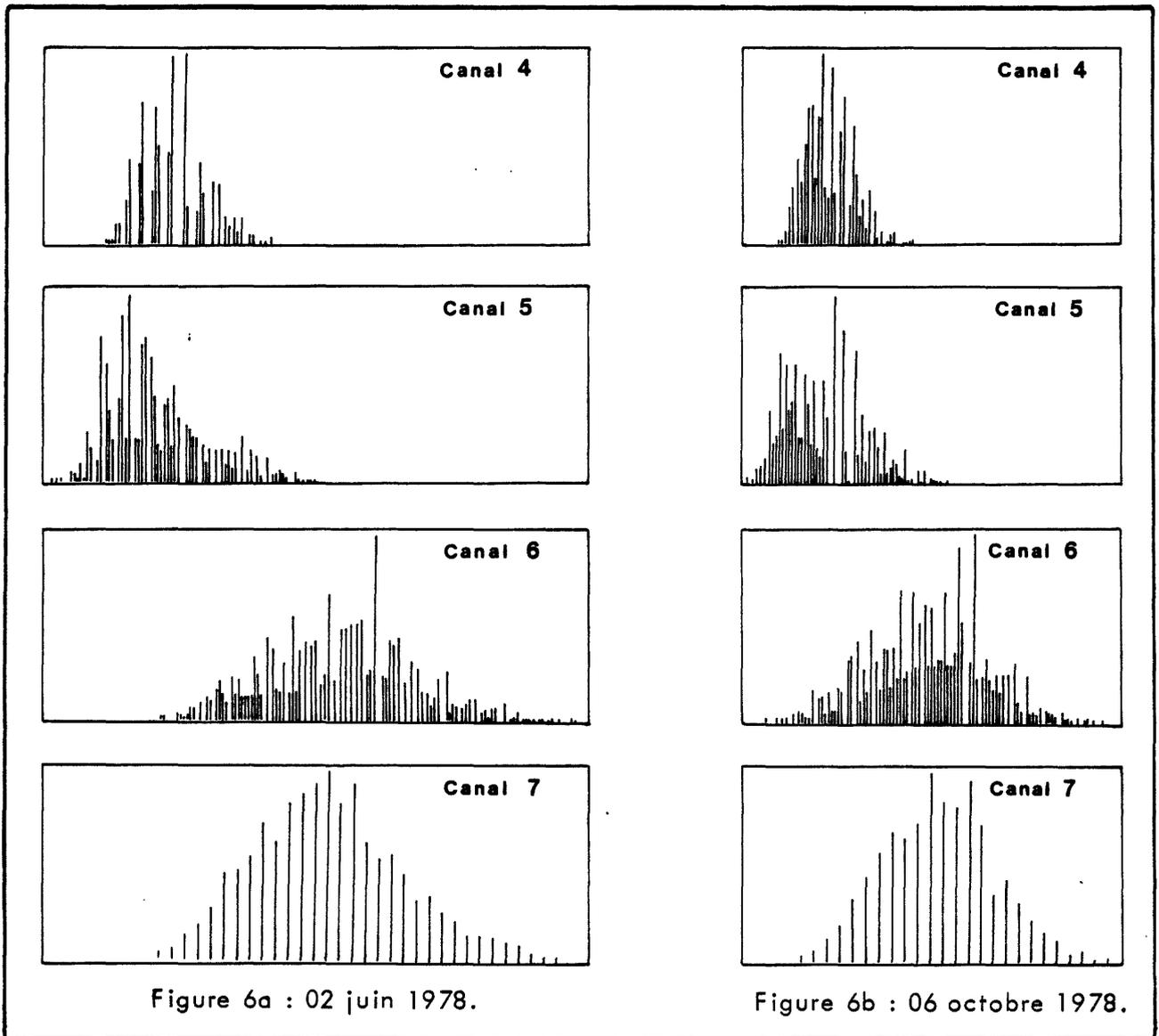


Figure 6 : Distribution des valeurs numériques.

Ce test des bornes peut jouer un rôle important dans l'analyse de l'homogénéité d'un paysage, au même titre que la moyenne et l'écart-type, pour chaque dimension spectrale (chapitre V-1). En particulier, lorsque l'histogramme obtenu dans l'étude de l'homogénéité spectrale d'une unité écologique est dissymétrique (cas fréquent), le point moyen et l'écart aux bornes contribuent objectivement à l'identification de la population intéressante.

Pour la sélection des dimensions spectrales, l'ensemble de ces données conduit donc au choix des canaux 5 et 7 en fonction de leur dynamique. Dans le cas des canaux n° 7, l'utilisation stricte de ces paramètres aurait fait retenir les canaux n° 6. Cependant, bien que les caractéristiques des distributions correspondantes soient équivalentes, le canal 7 est choisi dans les

deux scènes en fonction des propriétés physiques du domaine proche infrarouge. Le comportement connu de la végétation dans ce domaine spectral est donc l'élément décisif de ce choix.

D'une manière plus générale, le problème de la sélection d'une information spectrale dans une image multidimensionnelle quelconque devrait faire appel à une étude complémentaire. Par exemple, une analyse factorielle mettant en évidence les corrélations entre les canaux (deux à deux) indiquerait le choix des bandes contenant le maximum d'information. Une matrice de ces corrélations serait donc le moyen de montrer les dimensions les plus indépendantes à retenir.

CHAPITRE V

ETUDE DE L'HOMOGENEITE SPECTRALE

DES

UNITES ECOLOGIQUES

V-1 DESCRIPTION DU TEST D'HOMOGENEITE SPECTRALE

- V-1-a Généralités
- V-1-b Composante géographique
- V-1-c Composante numérique

V-2 RESULTATS

1. Pelouse d'altitude
2. Lande d'altitude
3. Reboisement d'altitude
4. Formations herbacées de moyenne altitude
5. Lande à genêt purgatif
6. Pîneraie de pins sylvestres sur schistes
7. Hêtraie
8. Hêtraie-Sapinière
9. Reboisement de moyenne altitude
10. Hêtraie-Chênaie
11. Pîneraie de pins sylvestres sur granites
12. Lande mixte de basse altitude.

L'étude d'homogénéité spectrale des unités écologiques a pour but de définir les parcelles (ou les parties de parcelles) ayant une radiométrie homogène. A cette seule condition, les parcelles observées peuvent être utilisées comme échantillons d'entraînement. Cela signifie qu'il faut en connaître les caractéristiques spectrales représentatives. En effet, dans le cas des écosystèmes étudiés, la distribution des valeurs numériques résulte souvent de réponses spectrales multiples provenant de physionomies et de topographies variables pouvant exister dans une même parcelle d'une unité écologique.

En outre, un des rôles importants de cette préassistance taxinomique est de fournir des informations complémentaires des observations de terrain sur l'organisation des unités écologiques.

V-1 DESCRIPTION DU TEST D'HOMOGENEITE SPECTRALE

V-1-a Généralités

Dans les mesures d'homogénéité spectrale, il est postulé qu'une réponse radiométrique homogène provient d'une cible dont le toit présente une même composition (ou une même structure) ou présente une organisation constante de plusieurs composants au moment de l'acquisition de l'image. Ainsi, l'information provenant du point élémentaire de l'image traduit un objet au sol qui sera considéré comme "uniforme" même si celui-ci est composite devant la nature des classes thématiques recherchées. D'une manière générale, cette notion est fondamentale pour deux raisons :

- la caractérisation au sol des systèmes écologiques et des formations végétales en donne souvent une représentation ne correspondant pas à leur perception verticale.
- cette perception verticale de la télédétection est directement affectée par la résolution géométrique du capteur qui définit le niveau d'homogénéisation des cibles observées.

Ces mesures d'homogénéité spectrale n'ont de signification statistique que si elles concernent des superficies d'au moins 30 à 100 pixels. Aussi, l'inscription d'une fenêtre rectangulaire (due au système ligne-colonne de l'image) dans une parcelle pour l'analyse de son homogénéité peut parfois conduire à des surfaces insuffisantes.

Pour répondre aux spécifications de cette mesure d'homogénéité, la technique utilisée pour les parcelles des unités écologiques est formée d'une composante géographique (analyse spatiale) et d'une composante numérique (analyse spectrale).

V-1-b Composante géographique

La composante géographique consiste à repérer une surface représentative de la zone étudiée et à en extraire l'information multispectrale. La procédure

appliquée est identique à celle décrite au chapitre IV pour l'extraction de l'information contenue dans la totalité de la zone étudiée. Cependant, les limites des unités écologiques étant des contours sans propriétés géométriques (figure 2), leur numérisation nécessaire représente une opération intermédiaire lente. Pour éviter celle-ci, un polygone intérieur à la limite de la parcelle étudiée est défini par un petit nombre de points (environ 30, exemple dans la figure 7).

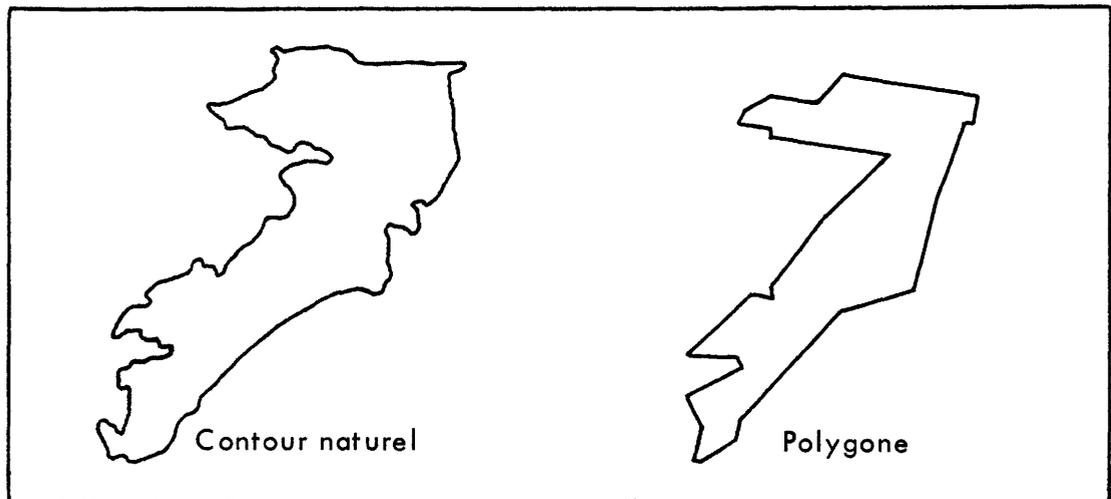


Figure 7 : Contour naturel et polygone de la parcelle 0602.

Ce nouveau contour contient une surface représentative des parcelles testées puisqu'un sondage (sur 10 % d'entre elles) montre que la superficie des polygones couvre 57,0 % de leurs superficies totales ajoutées. Par exemple, dans le cas de la parcelle 0602 de la figure 7, le polygone couvre 71,4 % de la surface. La procédure d'extraction géographique est donc appliquée à ces formes simplifiées. Au total, l'analyse spectrale porte sur 91 parcelles (tableau 4) parmi les 152 recensées dans la figure 2. Cette densité semble représentative par son importance et par la distribution des polygones dans la zone (figure 8).

Unités écologiques : numéro, nomenclature	Nombre de parcelles	Nombre de parcelles testées
1 Pelouse d'altitude	1	4
2 Lande d'altitude	3	3
3 Reboisement d'altitude	11	7
4 Formations herbacées de moyenne altitude	15	10
5 Landes à genêt purgatif	23	11
6 Pîneraie de Pin Sylvestre sur schistes	16	10
7 Hêtraie	28	10
8 Hêtraie-Sapinière et Sapinière	9	6
9 Reboisement de moyenne altitude	16	7
10 Hêtraie-Chênaie	16	11
11 Pîneraie de Pin Sylvestre sur granites	3	3
12 Lande mixte de basse altitude	11	9

Tableau 4 : Unités écologiques et parcelles analysées.

PARC NATIONAL DES CEVENNES
Unité Régionale Mont-Lozère-Bouguès Nord

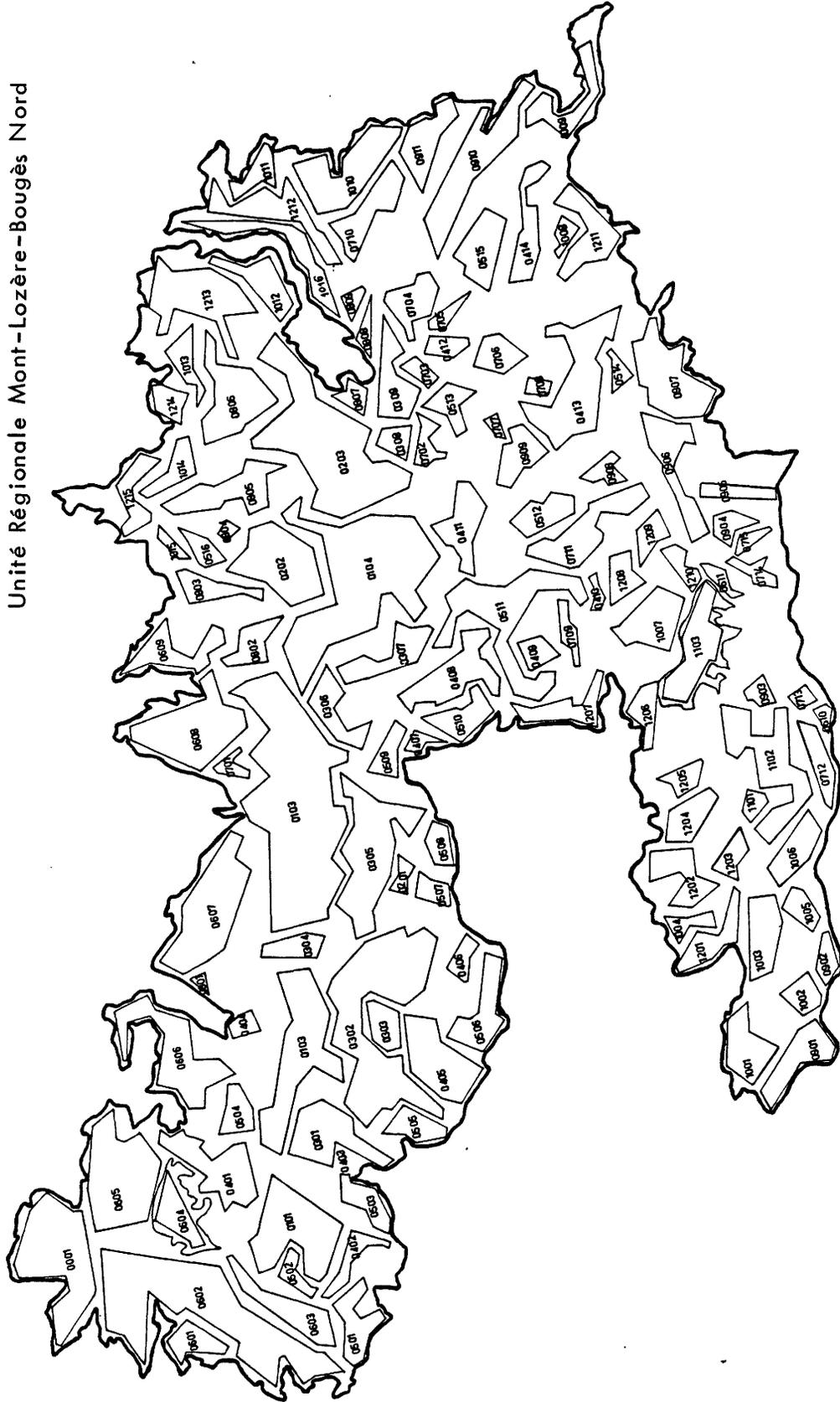


Figure 8 : Localisation des polygones

V-1-c Composante numérique

La composante numérique des tests d'homogénéité spectrale consiste à construire et à interpréter l'histogramme des valeurs numériques. Cette interprétation se déroule en deux phases (qualitative et quantitative) et traite les données dans les différents canaux retenus. En effet, une seule bande spectrale peut être suffisante pour montrer l'hétérogénéité d'une cible végétale apparemment homogène dans les autres canaux.

La première phase est l'analyse qualitative de l'histogramme. Elle consiste à identifier le type de distribution obtenue. Trois catégories principales peuvent être définies :

- distribution unimodale (symétrique ou dissymétrique)
- distribution multimodale (avec équivalence ou non des modes)
- distribution équi-répartie (avec observation de la continuité).

Il peut évidemment exister toutes les formes intermédiaires mais l'observation de l'une de ces trois formes (ou d'une forme voisine) constitue une première approche de l'homogénéité du site observé. Les histogrammes de la figure 9 obtenus dans la scène du 2 juin 1978 pour les unités 0602 (canal 7, Pin Sylvestre sur schistes) et 1103 (canal 5, Pin Sylvestre sur granites) présentent ainsi deux types de distribution correspondant à deux types de systèmes écologiques.

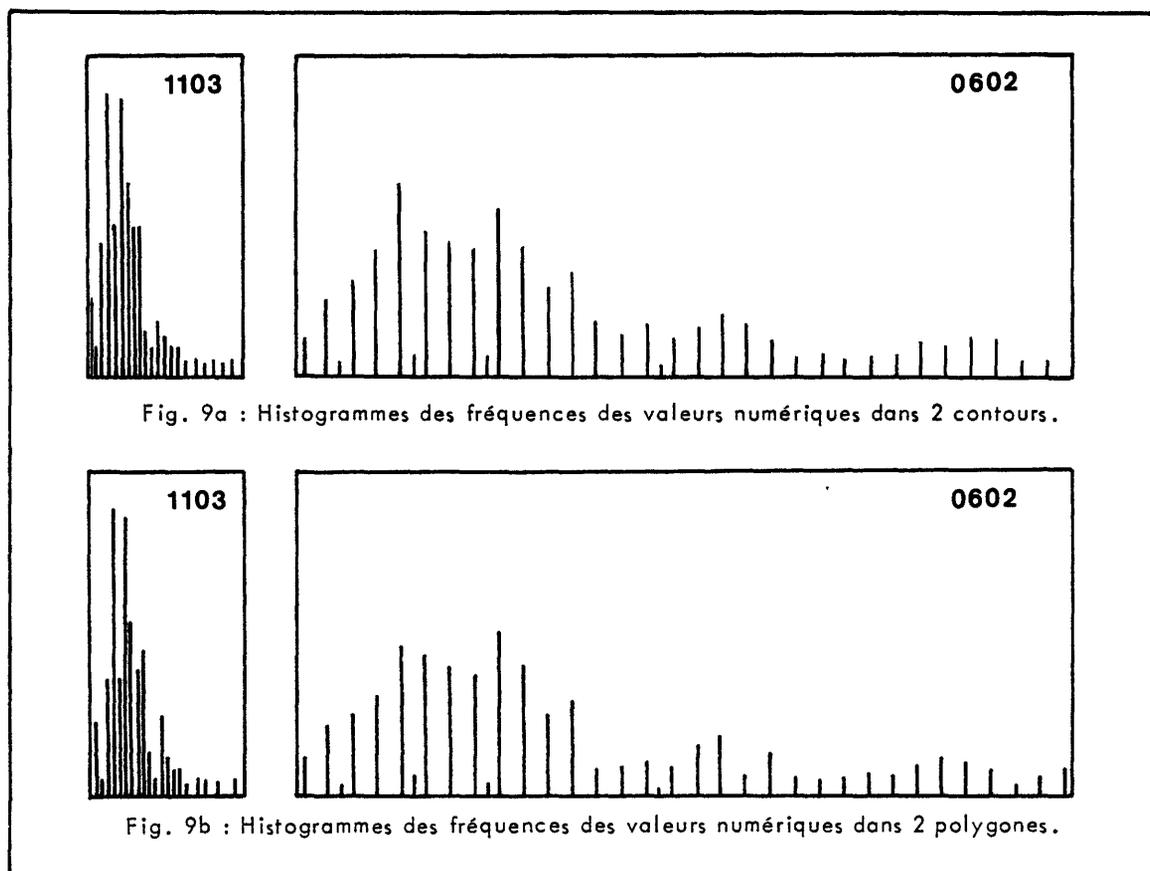


Figure 9 : Histogrammes des parcelles 1103 et 0602.

Le premier cas (1103) montre une distribution unimodale représentant la seule formation présente : la pineraie adulte de pins sylvestres. En outre, la figure 9 confirme à posteriori la représentativité des polygones par rapport à la surface totale des parcelles en soulignant la similitude des histogrammes obtenus par la parcelle réelle et la forme simplifiée en polygone.

Le second cas (0602) traduit par un histogramme trimodal la juxtaposition :

- de formations forestières continues constituant la pineraie et ayant atteint le stade climacique (faible radiance : forêt résineuse).
- et de formations végétales (qui conduiront à la pineraie) appartenant à des phases d'évolution précédant le climax forestier (radiance plus élevées).

Cette phase qualitative d'une étude d'homogénéité spectrale est complétée par la visualisation du site observé. En effet, la représentation graphique montre la répartition géographique des points des différentes classes de radiance et permet d'en apprécier le mode d'agrégation spatiale. Elle lève ainsi l'ambiguïté entre des zones de même population spectrale mais pouvant être formées :

- de plusieurs catégories de points agglomérés correspondants à des formations végétales distinctes,
- d'un seul ensemble de points mélangés correspondant à un même écosystème.

L'exemple des parcelles 0602 et 1103 déjà citées confirme cet apport de la visualisation dans la figure 10 (les codages sont différents en 10a et en 10b).

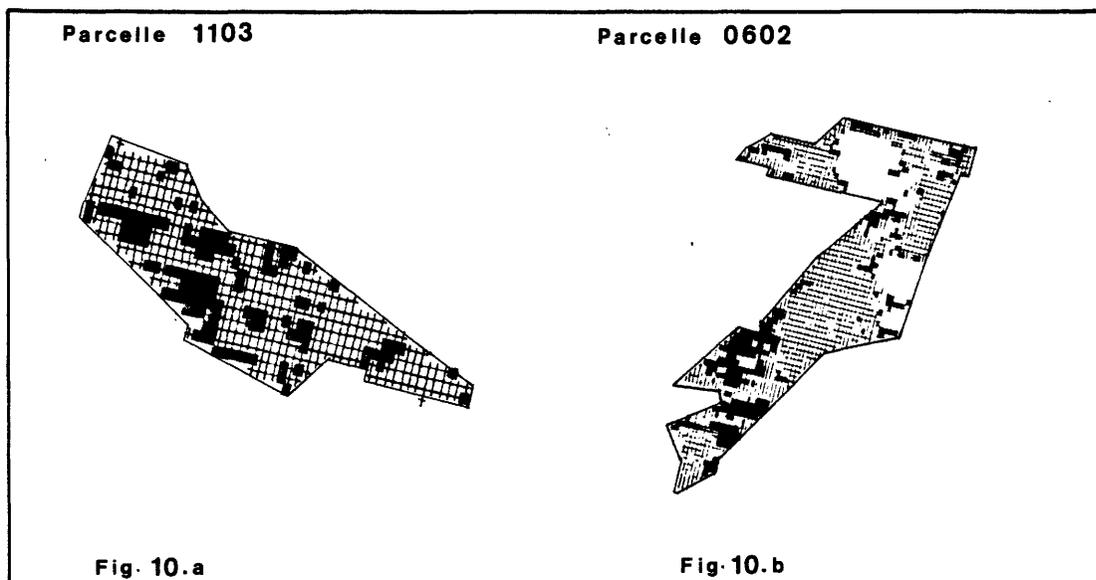


Figure 10 : Visualisations des parcelles 1103 et 0602.

La parcelle 0602 apparaît formée de trois types de zones qui correspondent aux trois modes de l'histogramme de la figure 9 : il s'agit des forêts de pin sylvestre et des landes qui y sont associées. La parcelle 1103 est plus homogène, ce qui est cohérent avec l'histogramme unimodal et l'existence de la seule pineraie sur ce site.

Il apparaît donc qu'une première analyse spectrale de la végétation nécessite simultanément des données statistiques et des données graphiques afin de dégager la signification phytologique des valeurs numériques de l'image.

La seconde phase de cette composante numérique est quantitative et a pour but de déterminer les valeurs numériques ayant les plus importantes fréquences des cibles étudiées. Elle doit donc indiquer la partie dominante du mode ou le mode principal de l'histogramme s'il en existe plusieurs. Pour cela, doivent être connues :

- la zone des plus grandes fréquences et son point central
- la zone correspondant à la population significative
- l'amplitude totale de la distribution.

Ces paramètres sont souvent déterminés par la moyenne, l'écart-type, la valeur minimale et la valeur maximale de la distribution. En effet, ces premières données permettent de connaître la forme de l'histogramme si la population répond à une loi normale. Cependant, ce cas d'homogénéité est rare en milieu naturel pour de telles zones ayant un même climax. Il convient donc de pouvoir placer dans la dimension spectrale considérée, les valeurs numériques entre lesquelles sont contenues des parties représentatives de la population.

De telles bornes sont alors calculées. Ce sont les valeurs numériques b_e et B_e (bornes inférieures et supérieures) pour l'échantillon e (VII-1) qui encadrent un certain pourcentage de points de la population tel que $(B_e - b_e)$ soit minimum. Deux taux sont retenus par analogie et pour leur signification dans la loi normale : 66 % et 95 %. Chacun des couples (b_e , B_e pour 66 % et b'_e , B'_e pour 95 %) détermine un point médian et un écart aux bornes (figure 11).

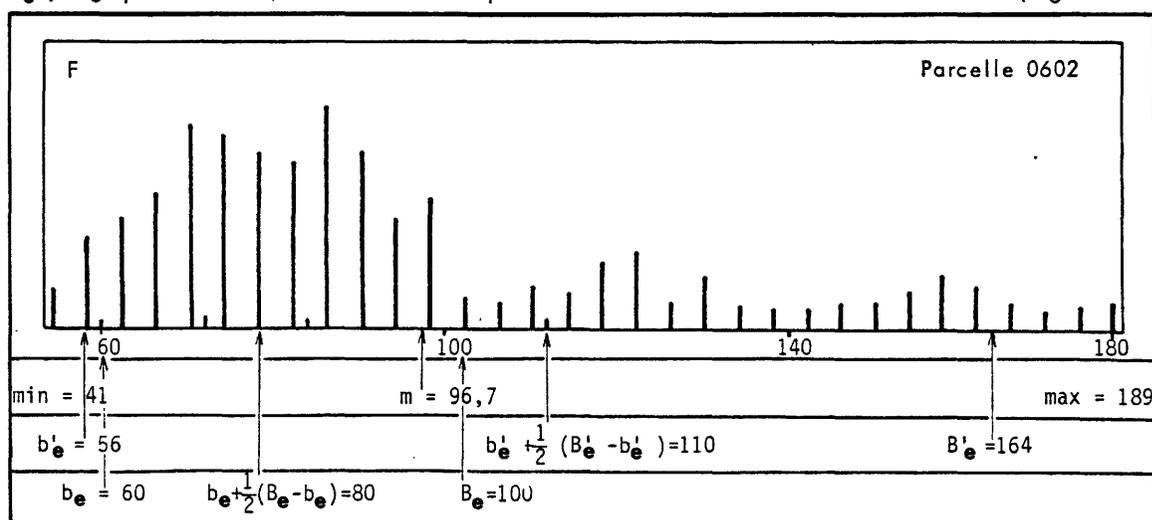


Figure 11 : Histogramme et caractéristiques du polygone de la parcelle 0602.

Avec les paramètres habituels, 12 caractéristiques de l'histogramme sont obtenues pour une bande spectrale. Elles peuvent être représentées comme dans le tableau 5 où la ligne n°1 indique la moyenne (m), l'écart-type (s) et les valeurs minimale (min) et maximale (max). Les lignes n°2 et n°3 donnent le point médian (m), l'écart aux bornes (s), les bornes inférieure (min) et supérieure (max) respectivement pour 95 % et 66 % de la population.

Canal	Parcelle	5 (02-06-78)				7 (02-06-78)				5 (06-10-78)				7 (06-10-78)			
		\bar{m}	s	min	max	\bar{m}	s	min	max	\bar{m}	s	min	max	\bar{m}	s	min	max
0602	1	38,8	8,8	25	84	96,7	30,8	41	189	28,9	15,9	2	77	66	19,9	26	117
	2	43	15	28	58	110	54	56	164	30,5	26,5	4	57	68	36	32	104
	3	38,5	8,5	30	47	80	20	60	100	22,5	14,5	8	37	66	18	48	84
1103	1	28,5	4,8	20	61	70,6	28	49	177	13,9	4,2	7	40	47,8	16,4	33	125
	2	29,5	7,5	22	37	98	50	48	148	19,5	11,5	8	31	64	32	32	96
	3	25	3	22	28	56	8	48	64	12	2	10	14	42	2	40	44

Tableau 5 : Résultats numériques du test d'homogénéité sur les parcelles 0602 et 1103.

Les positions de ces caractéristiques conduisent à des règles pour l'interprétation de l'homogénéité spectrale des sites étudiés :

1. Lorsque les 3 valeurs moyennes sont voisines, la distribution est symétrique.

2. Le rapport entre $(B_e - b_e)$ pour les parcelles d'une unité écologique et $(B_r - b_r)$ pour l'histogramme de la totalité de la région donne une indication d'homogénéité et de séparabilité.

3. Le rapport $(B'_e - b'_e) / (B_e - b_e)$ est également indicateur d'homogénéité: si les deux points moyens sont différents, un rapport supérieur à 2 traduit la dissymétrie et l'hétérogénéité spectrale.

4. Le point central $m = b_e + \frac{1}{2} (B_e - b_e)$ est la caractéristique qui localise au mieux le mode principal de la distribution et les bornes B_e et b_e sont une approche efficace de la zone numérique représentative de la cible.

V-2 Résultats

Les résultats de l'analyse de l'homogénéité spectrale des unités écologiques sont formés de trois ensembles d'informations :

- les histogrammes et leurs caractéristiques retenues,
- les diagrammes de localisation radiométrique des unités,
- l'interprétation phytologique de ces deux groupes de données.

Les caractéristiques numériques de ces tests d'homogénéité sont présentées dans l'annexe 2 (selon l'ordonnancement du tableau 5) et les diagrammes correspondants (pour 66 % des populations de pixels) forment les figures 12 à 23. L'interprétation phytologique proposée et décrite ci-dessous fait appel aux données disponibles déjà indiquées (III-3). Elle reprend l'ordre de description des unités écologiques présentées au chapitre III.

1. Pelouse d'altitude

La figure 12 montre des radiométries groupées résultant de distributions presque symétriques où la dynamique est réduite (sauf dans le canal 5 de la scène d'octobre). Les histogrammes unimodaux correspondants représentent clairement la physionomie homogène de la pelouse d'altitude à un tel niveau de perception. Cependant, des variantes apparemment liées à la transhumance et au pâturage apparaissent et peuvent donner des radiances un peu plus élevées (particulièrement en octobre).

2. Lande d'altitude

Toutes les distributions sont unimodales et les moyennes et points médians sont voisins à l'exception de la parcelle 0203 (fig. 13). La lande paraît donc homogène et la répartition quasi-constante des callunes et des genêts détermine le groupement des centres radiométriques. La radiance plus faible de la parcelle 0203 en juin est due à une colonisation plus marquée de la pelouse au contact des reboisements. A cela se superpose l'effet du pâturage estival qui provoque une physionomie plus ouverte, donc une radiance identique à celle des autres parcelles en octobre.

3. Reboisement d'altitude

Les histogrammes montrent des populations hétérogènes en juin et des distributions unimodales en octobre. Cependant, le caractère dominant dans la figure 14 est la dispersion des points moyens. Ces deux phénomènes sont dûs à l'existence de trois principales catégories d'âge de reboisement. En effet, les plantations peuvent avoir plus de 60 ans, de 35 à 40 ans ou de l'ordre de 5 ans. Cette diversité s'identifie dans les diagrammes par la dispersion déjà citée où la diminution de radiance correspond aux reboisements les plus anciens. Cette observation est cohérente avec le fait que les résineux ont des réponses spectrales plus faibles que les feuillus et les pelouses. Or, ces mélanges existent encore dans les reboisements récents, ce qui explique les écarts aux bornes importants pour les parcelles à fortes radiances. Parmi ces dernières, les parcelles 0302 et 0305 sont effectivement des plantations jeunes. La parcelle 0307 occupe une position radiométrique intermédiaire (particulièrement en juin) et est formée d'un reboisement de la classe d'âge moyen. Enfin, les deux parcelles bien isolées du côté des faibles radiances en juin et octobre (0301 et 0309) traduisent les peuplements denses de pins à crochets ayant plus de 60 ans.

4. Formations herbacées de moyenne altitude

Elles ont généralement des distributions unimodales où le rapport des écarts aux bornes est inférieur ou voisin de 2. Aussi, bien qu'étant occupées par une flore variée, la physionomie de ces formations herbacées est homogène, ce qui explique la faible dispersion radiométrique d'ensemble. Seule, la parcelle 0402 apparaît avec une radiance plus faible en juin. Cette zone est peu pâturée depuis quelques années et subit une évolution rapide vers la lande. La présence d'une colonisation par le genêt provoque l'abaissement de radiance qui est donc lié à cette évolution.

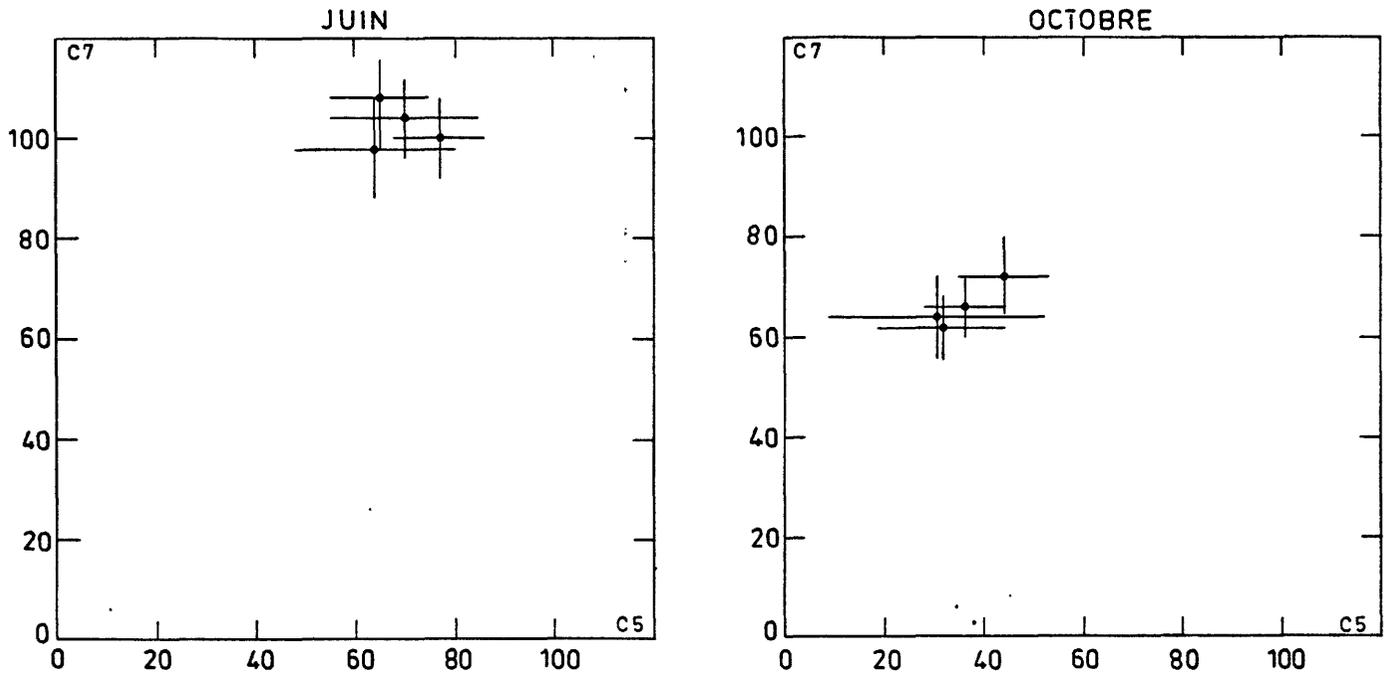


Figure 12 : Radiométrie des pelouses d'altitude

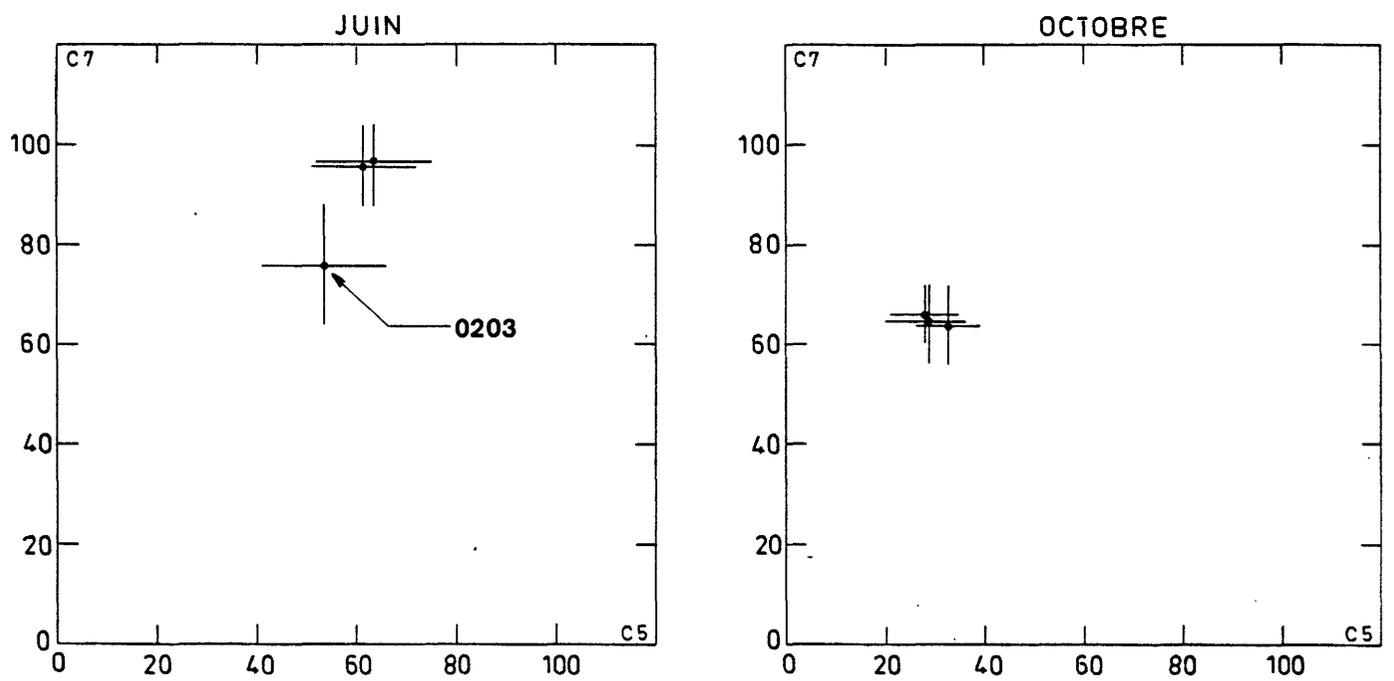


Figure 13 : Radiométrie des landes d'altitude

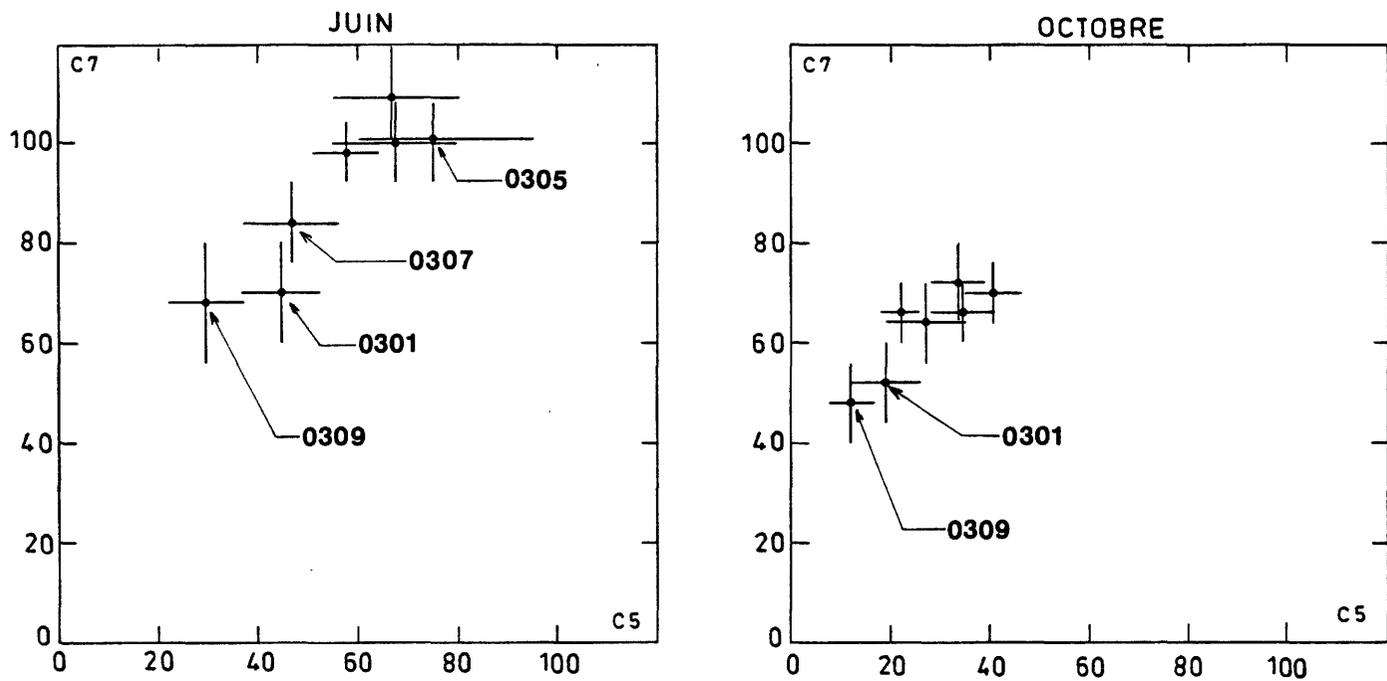


Figure 14 : Radiométrie des reboisements d'altitude

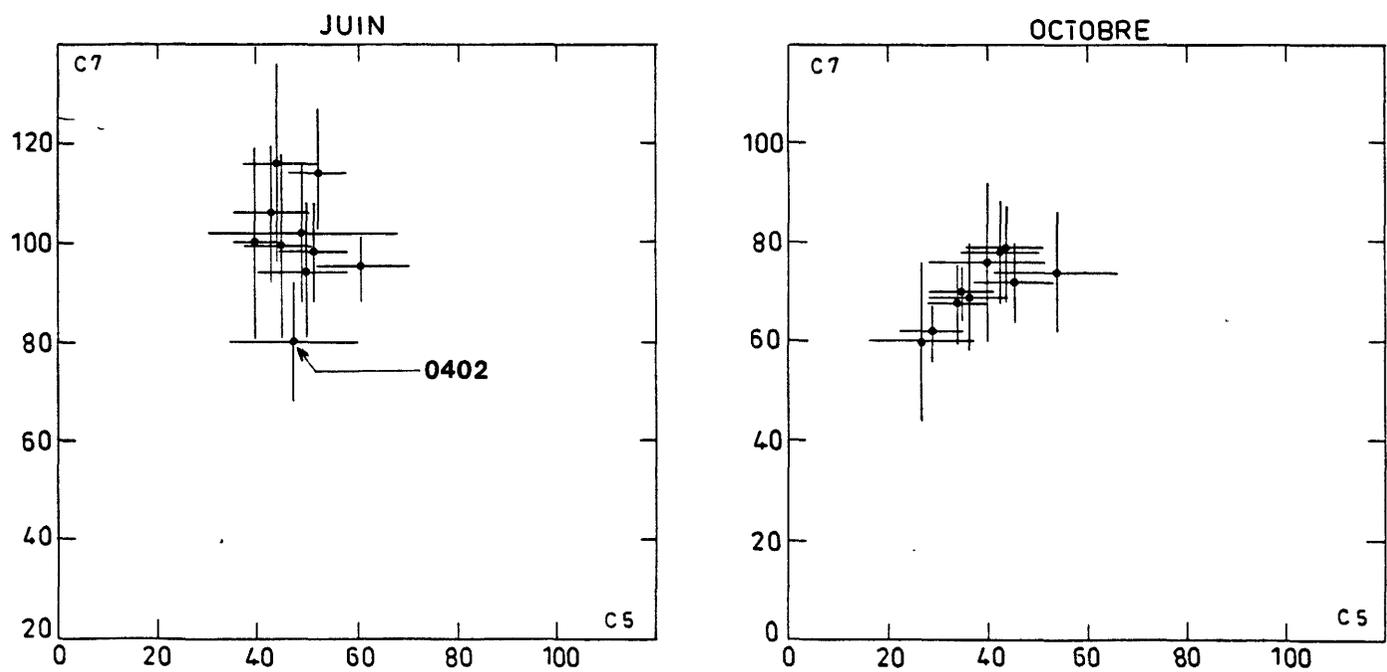


Figure 15 : Radiométrie des formations herbacées de moyenne altitude

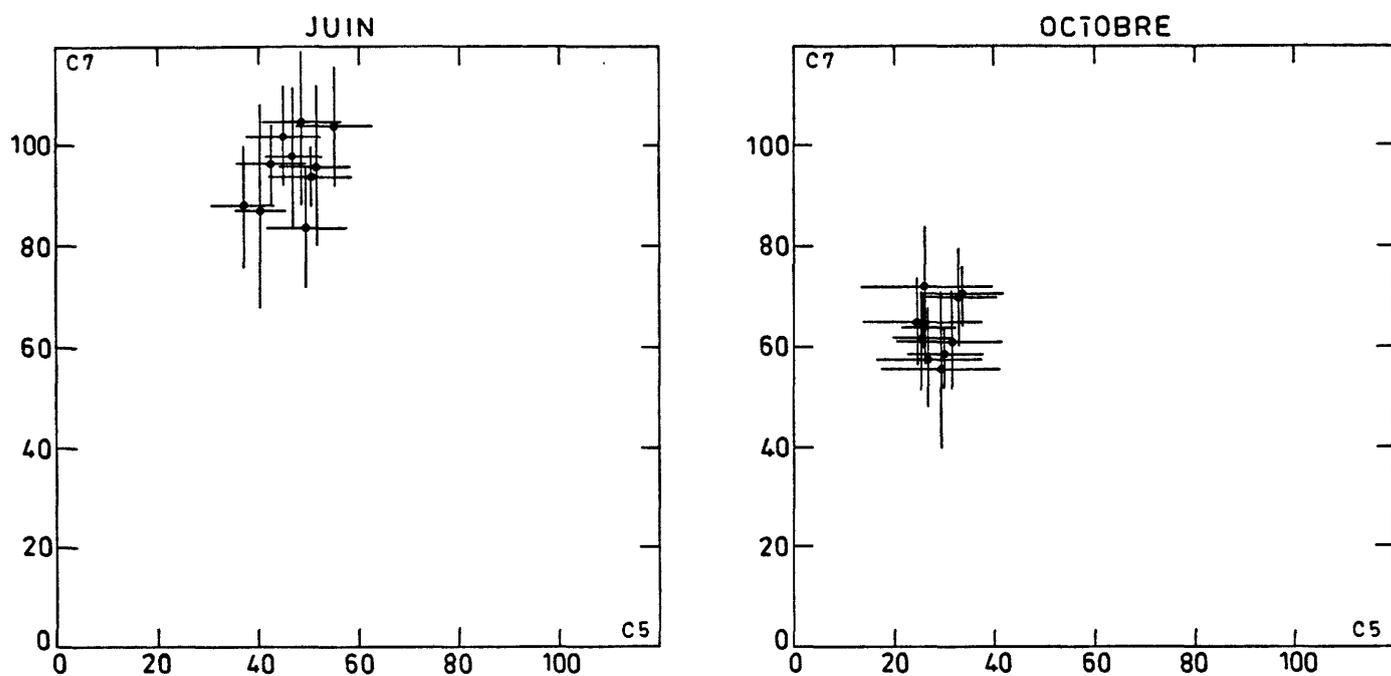


Figure 16 : Radiométrie des landes à genêt purgatif

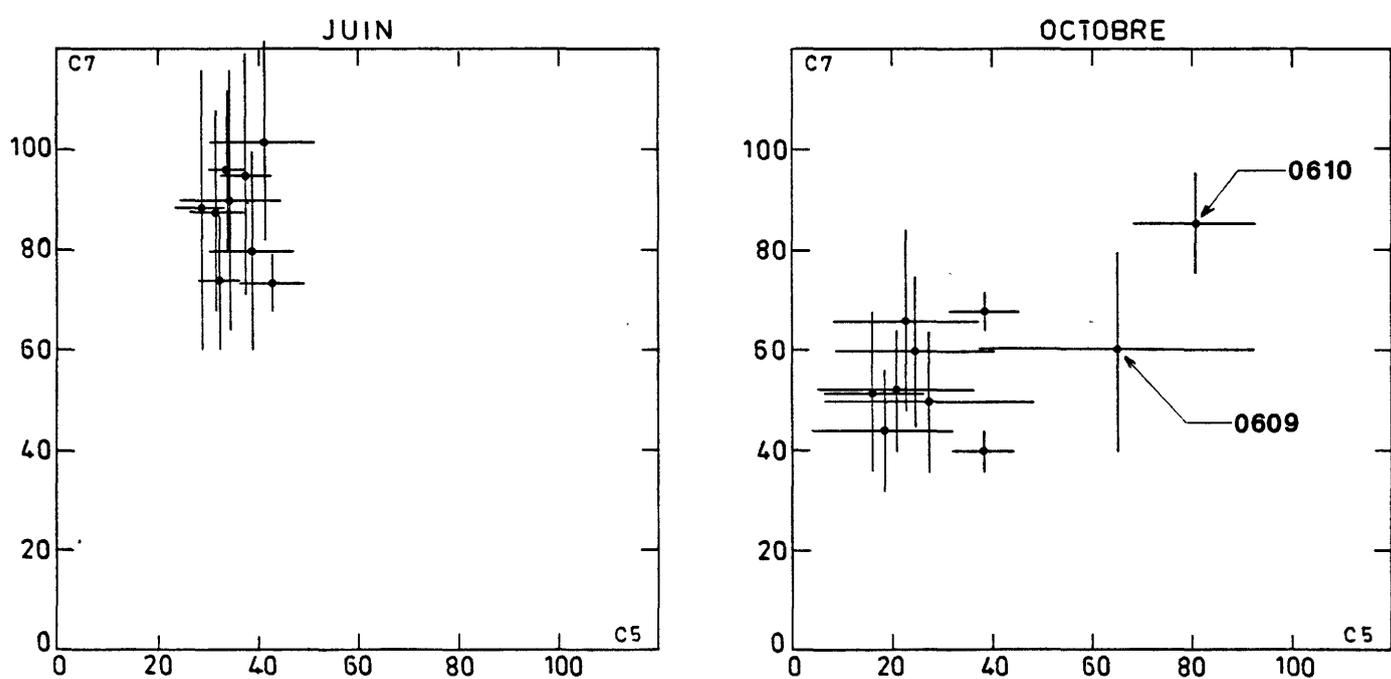


Figure 17 : Radiométrie des pineraies de Pins Sylvestres sur schistes

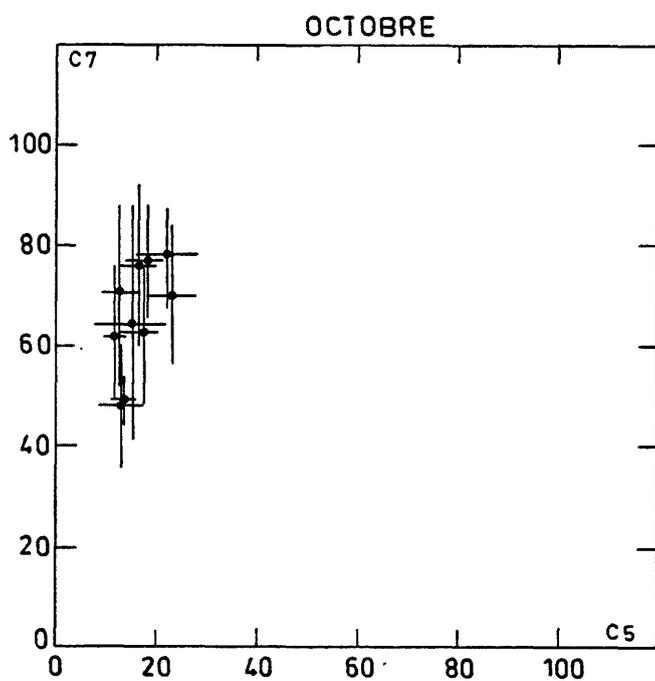
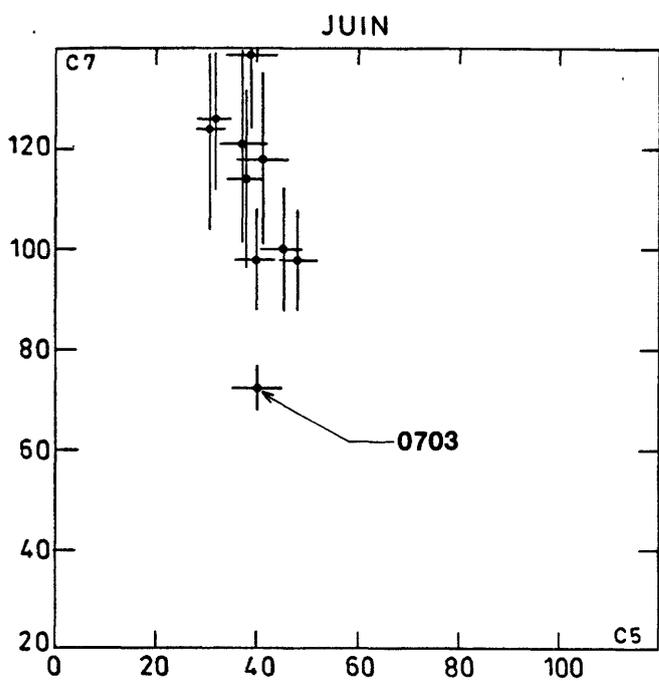


Figure 18 : Radiométrie des hêtres

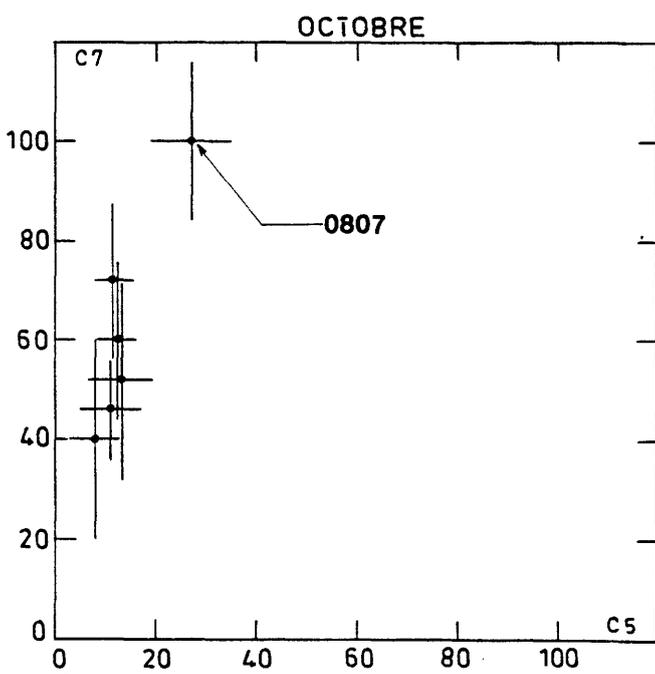
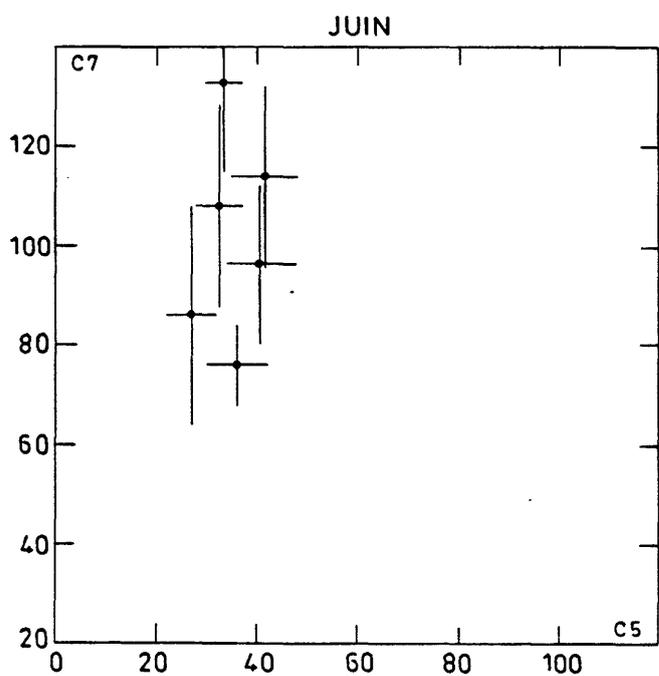


Figure 19 : Radiométrie des hêtres-sapinières

5. Lande à genêt purgatif

La quasi totalité des parcelles de cette lande ont des histogrammes symétriques dont la dispersion est limitée. Le groupement de l'ensemble de ces distributions tant en juin qu'en octobre (fig. 16) montre que cette lande est un milieu homogène. La faible variabilité de ces landes à genêt purgatif (ou cytisiaies) se retrouve donc dans ce groupement des radiométries de 66 % des populations.

6. Pîneraie de Pins Sylvestres sur schistes

Les histogrammes des parcelles de Pins Sylvestres sur schistes sont unimodaux et légèrement dissymétriques dans le canal 7 de la scène du 2 juin 1978. Deux unités ont un comportement différent contrastant avec l'homogénéité de la pîneraie : il s'agit des parcelles 0609 et 0610 nettement séparées du groupement radiométrique constitué par les autres surfaces testées dans la scène du 10 octobre 1978 (fig. 17). La parcelle 0609 est une station à Bouleau de peuplement peu dense sur des affleurements rocheux où le Pin Sylvestre se développe lentement. Ces conditions font que la radiance dans les deux canaux est élevée puisque le test à 66 % de la population des pixels correspondants isole les bouleaux dominants (réflexion plus forte des feuillus). Quant à la parcelle 0610, elle est peu étendue et située au contact avec la chênaie dans le Bougès-Nord. Sa faible surface et sa position empêchent de conclure sur des valeurs radiométriques d'objets composites.

7. Hêtraie

Les distributions des hêtraies montrent une bonne homogénéité au travers de populations unimodales quelquefois étendues (surtout dans le canal 7 aux deux dates). Une seule parcelle est nettement séparée du groupe en juin. Celle-ci (0703) présente des radiances faibles par rapport à l'ensemble des hêtraies. Il s'agit d'un site où le Pin à crochets est développé et provoque cet abaissement des valeurs enregistrées.

8. Hêtraie-Sapinière

A l'exception de la hêtraie-sapinière située en 0807 (figure 19), ces parcelles ont un comportement radiométrique homogène (histogrammes unimodaux), stable dans l'ensemble avec des dispersions parfois importantes dans le canal 7. La parcelle 0807 qui présente une radiométrie très différente des autres sites traités en octobre est établie sur des éboulis en formation boisée peu dense et très ouverte. La forte radiance représente ce phénomène auquel s'ajoute l'effet d'une plus grande proportion de Hêtre dans le peuplement par rapport aux autres parcelles du même groupe.

9. Reboisement de moyenne altitude

Les histogrammes de ces reboisements sont généralement symétriques et possèdent une dynamique étendue. En effet, le rapport des écarts aux bornes, sont fréquemment très supérieurs à 2. Par contre, l'ensemble des tests d'homogénéité apparaît groupé sur les diagrammes radiométriques, particulièrement en octobre (figure 20). Ces constatations indiquent des reboisements en résineux d'âge peu variable où le mélange avec les feuillus entraîne une réponse spectrale large. Cet aspect de diversité se traduit sans doute par les écarts aux bornes importants enregistrés dans le canal 7 des deux scènes. Une parcelle (0902) se trouve nettement hors des autres valeurs radiométriques rencontrées en juin par une valeur de radiance très forte dans le canal 7 : celle-ci découle de la dominance de la hêtraie-chênaie dans laquelle a été implantée une station d'Epicéa. La diversification de ces caractéristiques correspond à la position écologique intermédiaire de cette unité un peu "artificielle".

10. Hêtraie-chênaie

Les distributions des hêtraies-chênaies (figure 21) sont groupées et très étendues dans le canal 7. Les points médians sont voisins et les amplitudes généralement grandes. Ces caractères montrent la diversité que peut revêtir cette unité écologique par le mélange d'espèces associées (Frêne et Bouleau principalement) et de physionomies variées. La parcelle 1010 située en marge du groupe dans la scène du 2 juin 1978 est occupée par un peuplement mixte contenant des conifères (Pin à crochets, Epicéa) et les autres espèces à feuilles caduques qui s'associent à la hêtraie-chênaie. Cette composition très mélangée pourrait expliquer la position particulière de cette unité.

11. Pîneraie de Pins Sylvestres sur granites

Ces unités écologiques ont des histogrammes unimodaux et peu dissymétriques. Leurs positions dans les diagrammes radiométriques de la figure 22 montrent un étalement important par rapport aux écarts aux bornes. Cette variation de radiance est clairement liée à la densité de peuplement dans les pîneraies. En effet, les faibles réponses proviennent de la parcelle ayant le couvert le plus dense (parcelle 1103). La parcelle 1101 est en position intermédiaire, ce qui est cohérent avec une densité de peuplement plus forte qu'en 1102. Ce dernier site possède d'ailleurs une radiance plus élevée en octobre par suite de la présence de hêtre. Cette analyse est donc en accord avec les propriétés connues de réflexion des cibles végétales.

12. Lande mixte de basse altitude

Les parcelles observées ont des comportements très différents en juin et en octobre (figure 23). Cette différence, constatée dans d'autres unités, est particulièrement visible dans ces landes. L'homogénéité apparente en octobre ne peut masquer l'existence d'un groupement hétérogène en juin formé de distributions dissymétriques et à fortes étendues. Les deux sous-ensembles de juin correspondent bien aux deux aspects des landes mixtes constatées sur le terrain. Le premier est formé des parcelles de landes peu envahies par quelques ligneux hauts et se trouve dans les réponses de type pelouses. Le second, de réflectance plus faible dans le canal 5, est formé de parcelles où les formations hautes peuvent atteindre 25 % de

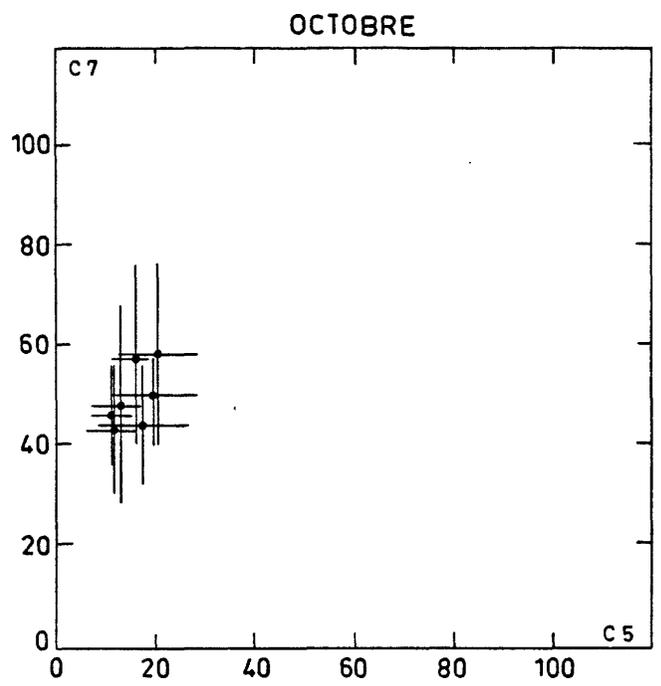
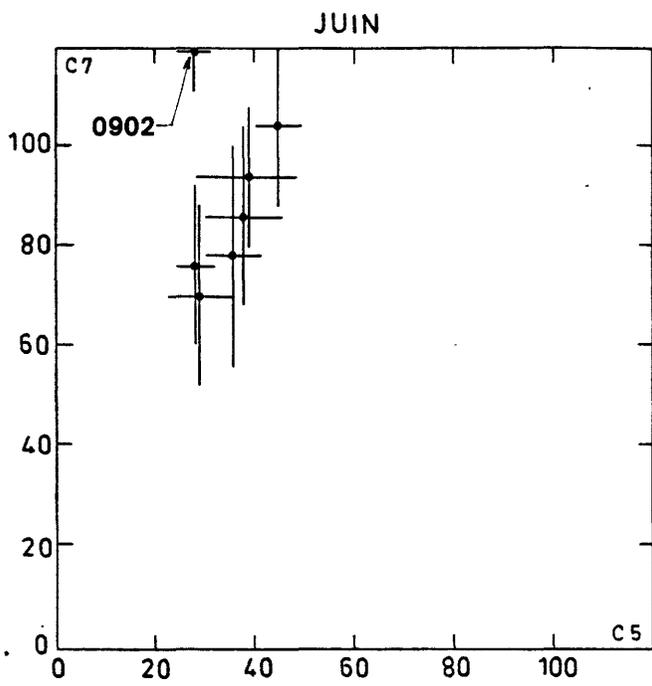


Figure 20 : Radiométrie des reboisements de moyenne altitude

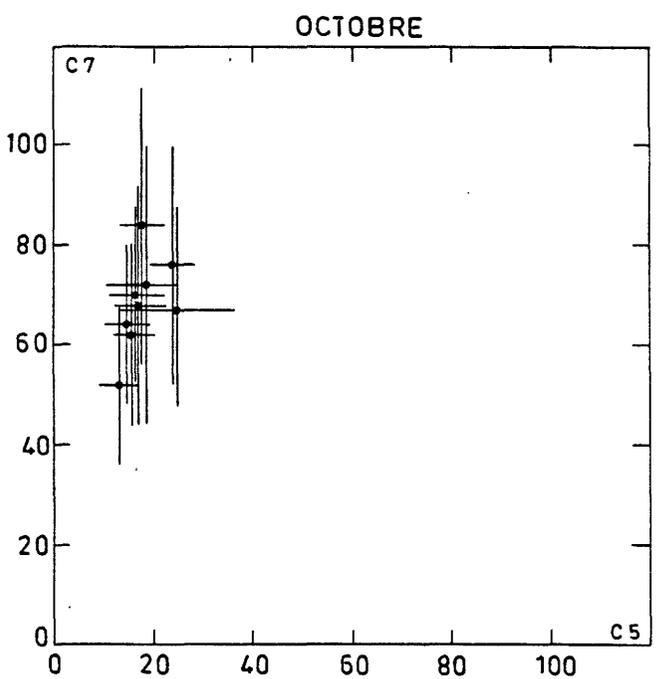
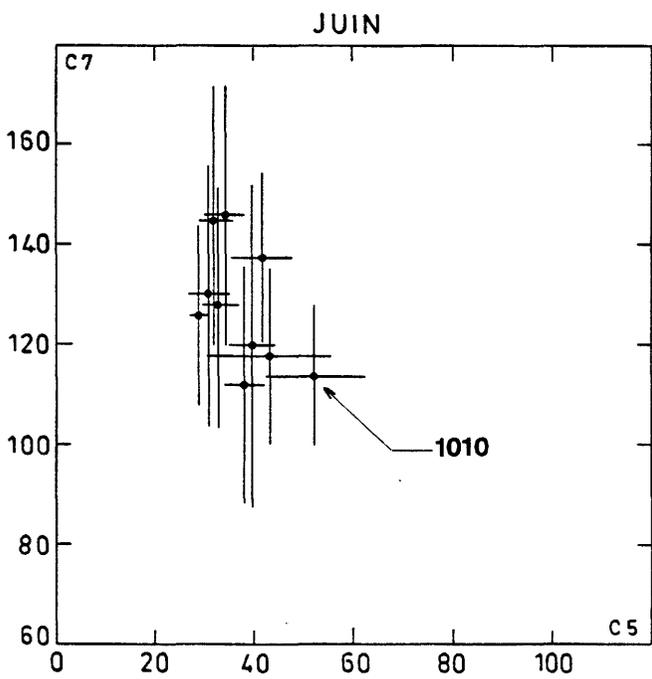


Figure 21 : Radiométrie des hêtraies-chênaies

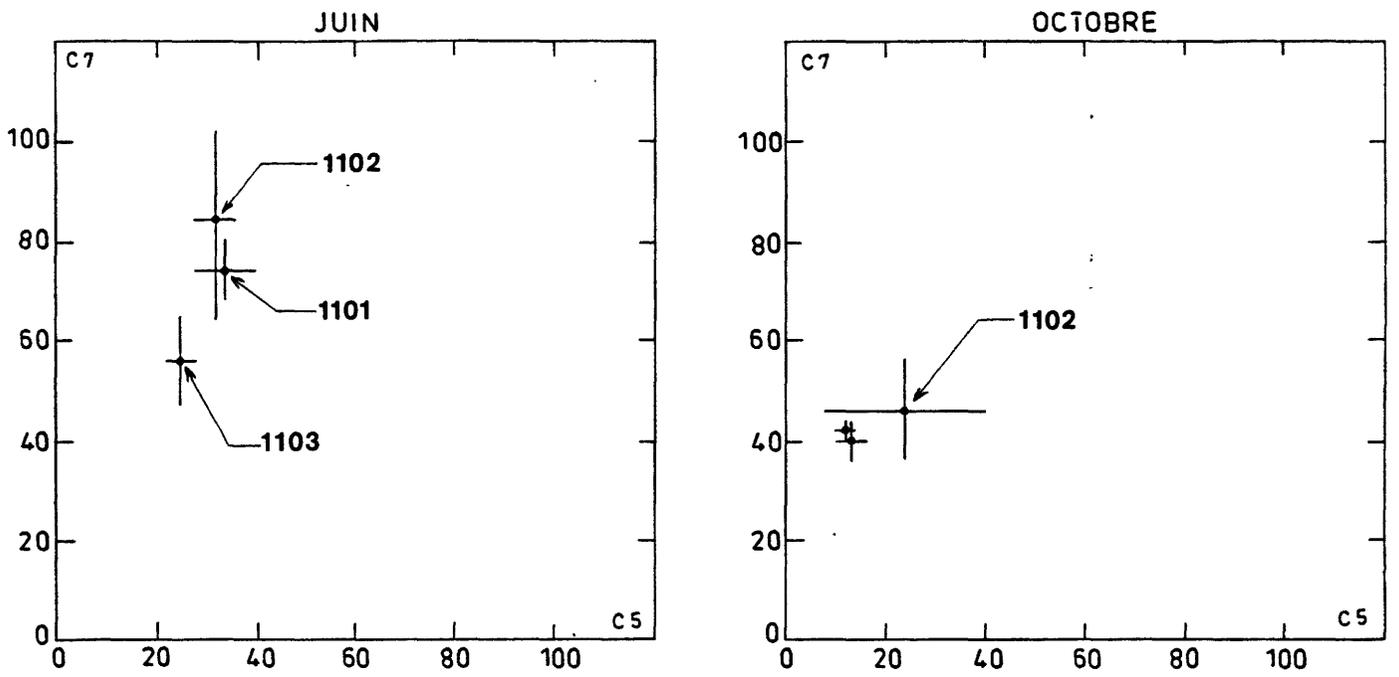


Figure 22 : Radiométrie des pineraies de Pins Sylvestres sur granites

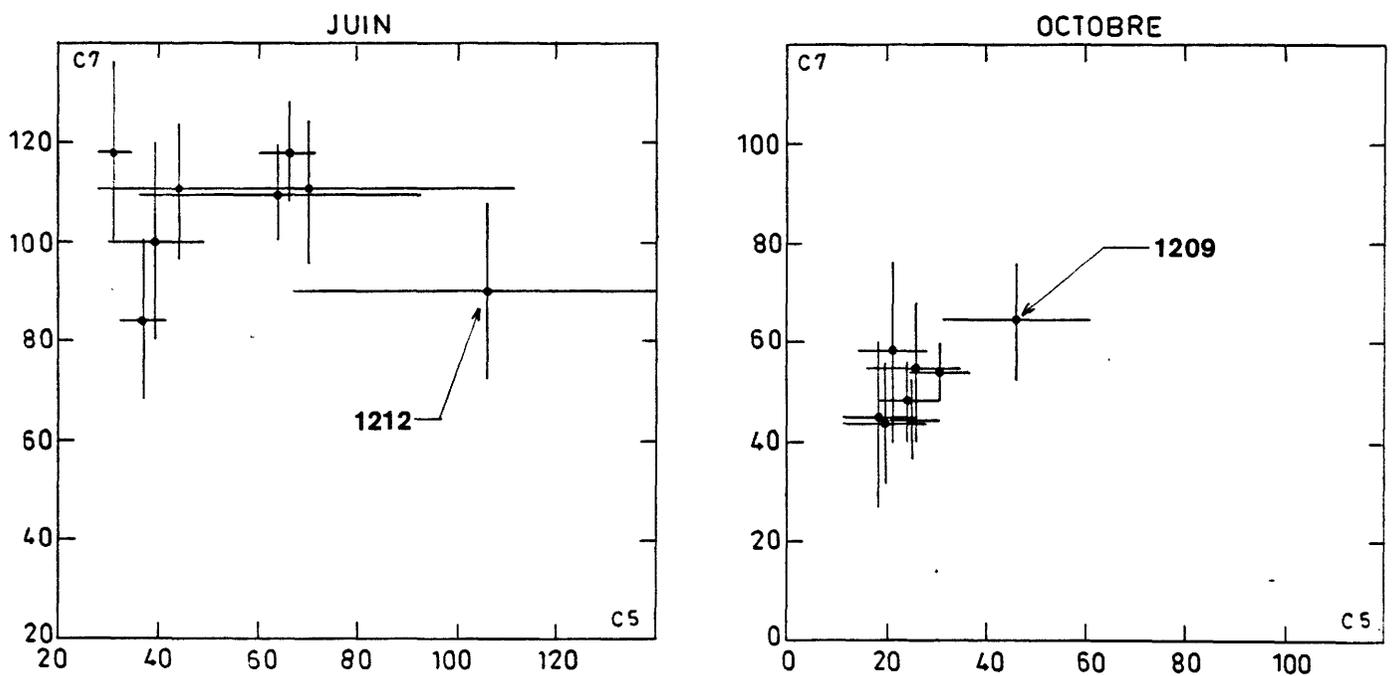


Figure 23 : Radiométrie des landes mixtes de basse altitude

la surface. La position de la parcelle 1212 en juin semble difficilement explicable. Par contre, celle de la parcelle 1209 en octobre est due à une physionomie de pelouse ; son appartenance aux landes mixtes provient de son altitude et de son évolution probable.

L'interprétation phytologique de ces résultats montre qu'il existe la possibilité d'obtenir des renseignements sur les cibles végétales observées avant même que le traitement des images soit effectué. A ce titre, l'expérience répond ainsi à la première partie de son objectif fondamental. Enfin, outre l'homogénéité proprement dite des parcelles, cette phase de l'étude conduit directement à une appréciation de l'homogénéité des classes thématiques observées. Elle prépare donc l'analyse spectrale des formations végétales et l'ajustement des classes thématiques et spectrales.

Ainsi, l'application de ce test d'homogénéité spectrale apporte plus d'informations qu'une phase normale de pré-assistance dans l'utilisation habituelle des parcelles d'entraînement. Ceci est dû au nombre important de tests effectués mais également à la technique employée. La caractérisation de paramètres médians et leur utilisation pour estimer le biais des distributions délivrent des indications qui dépassent l'initialisation du traitement d'images. En outre, le modèle de procédure utilisé montre l'intérêt d'une approche non-paramétrique lorsque ce type d'analyse concerne des systèmes écologiques complexes.

CHAPITRE VI

ETUDE SPECTRALE

DES

FORMATIONS VEGETALES

VI-1 CO-ASSISTANCE SPECTRO-TEMPORELLE

VI-2 RECHERCHE DES CLASSES THÉMATIQUES DISCRIMINABLES

VI-2-a Unités et formations forestières

VI-2-b Landes

VI-2-c Pelouses

VI-2-d Conclusion

Après la phase de pré-assistance qui optimise l'échantillonnage au niveau de la parcelle d'entraînement (chapitre V), la phase de co-assistance a pour but d'évaluer la signification des classes d'échantillons par rapport à l'ensemble des classes thématiques. Il s'agit donc d'ajuster la nomenclature thématique intéressante avec la nomenclature des classes spectrales assez homogènes pour être discriminables.

VI-1 CO-ASSISTANCE SPECTRO-TEMPORELLE

La définition des classes thématiques ayant des propriétés spectrales disjointes peut rencontrer différentes configurations.

Une partie d'entre elles découle de l'interprétation phytologique des histogrammes et des diagrammes numériques de la pré-assistance. Il s'agit des cas où quelques parcelles se trouvent hors du groupement numérique principal de l'unité : ces échantillons ne sont pas retenus dans la classification pour la cartographie de l'unité considérée. Les reboisements d'altitude et les pineraies de pins sylvestres sur schistes présentent de tels échantillons (figures 14 et 17).

D'autres configurations sont dues à la dynamique d'ensemble des groupes de parcelles provenant des différentes unités écologiques :

- les échantillons d'une même classe thématique peuvent se trouver répartis en deux (ou plus) classes spectrales distinctes.
- les échantillons de deux (ou plus) classes thématiques connues peuvent se trouver regroupés dans une même zone de diagramme numérique où une seule classe spectrale est identifiable.
- la variabilité spectrale d'un groupe de parcelles d'une même unité écologique peut être étendue et couvrir des radiométries de plusieurs autres unités.
- la variabilité spectrale d'un groupe de parcelles de même nature écologique peut être faible mais se trouver superposée (tout ou partie) avec les réponses spectrales d'une autre unité.

La définition de classes thématiques significatives doit donc tenir compte de ces faits pour fournir la nature des objets au sol correspondant aux classes spectrales homogènes. Deux actions sont alors utilisées :

- réunion de formations végétales différentes
- division de systèmes écologiques complexes.

Cette procédure permet de mieux évaluer, avant la mise en oeuvre des classifications, la séparabilité des unités et des formations à discriminer

Or, les tests ont apporté une information sur l'homogénéité des parcelles mais également sur l'homogénéité des classes de parcelles. Aussi, ces données se superposent-elles aux phénomènes de variabilité précités lorsqu'il faut faire correspondre classes thématiques et classes spectrales. Cette phase de l'expérience nécessite donc des actions simultanées qui sont représentées succinctement par le tableau 6.

Tableau 6 : Schéma de la co-assistance spectro-temporelle dans le cas des unités écologiques.

Groupe Parcelle	Homogène	Hétérogène
Homogène	Détermination de l'espace multispectral caractéristique de la classe thématique.	Affectation de la parcelle située hors du groupe radiométrique principal aux classes thématiques voisines.
Hétérogène	Identification spectrale des composantes phytologiques et physiographiques formant la parcelle.	Idem cas des unités hétérogènes en groupe homogène, mais suivi de l'affectation des différentes composantes caractéristiques aux classes thématiques significatives.

Pour les groupes homogènes de parcelles, la démarche consiste à en comparer les zones radiométriques dans les différentes bandes spectrales. Cette action doit permettre de prévoir les unités discriminables. Dans les cas d'ambiguïtés, (unités hétérogènes) les tests d'homogénéité sont utilisés pour regrouper les composantes identifiables (souvent, les formations végétales) en classes thématiques significatives.

Pour les groupes hétérogènes de parcelles, la variabilité intra-classe implique l'attribution des parcelles formant les sous-groupes radiométriques aux classes thématiques de mêmes réponses spectrales. Cette phase nécessite fréquemment la redéfinition du poste de nomenclature concerné afin d'y introduire les parcelles ajoutées. Si des unités de ces groupes sont hétérogènes, ce sont les différentes composantes phytologiques significatives qui sont affectées aux classes thématiques définies.

La complexité de cette phase de co-assistance spectrale met en évidence la nécessité d'une démarche fondamentalement thématique lorsqu'il s'agit de prendre en compte une donnée écologique. En outre, l'intérêt de cette procédure de co-assistance réside dans le fait qu'elle constitue une forme abstraite d'interactivité dans la méthodologie.

VI-2 RECHERCHE DES CLASSES THEMATIQUES DISCRIMINABLES

L'étude d'homogénéité spectrale a fait apparaître les unités et les groupes de parcelles dont les radiométries sont concentrées dans des régions restreintes de l'espace multidimensionnel. Il reste donc à déterminer le nombre et la nature de ces entités dont les positions radiométriques forment une partition de l'espace spæctro-temporel choisi. C'est le rôle de la co-assistance qui vient d'être décrite en VI-1 de donner cette description thématique des classes spectrales à priori discriminables. Pour cela, la répartition des réponses spectrales significatives des parcelles échantillonnées est observée de façon synthétique avec les figures 24, 25 et 26 qui superposent les diagrammes numériques utiles.

VI-2-a Unités et formations forestières

Cet ensemble regroupe les deux types de pineraie de Pin Sylvestre, la hêtraie, la hêtraie-sapinière, la hêtraie-chênaie et les reboisements de haute et moyenne altitude.

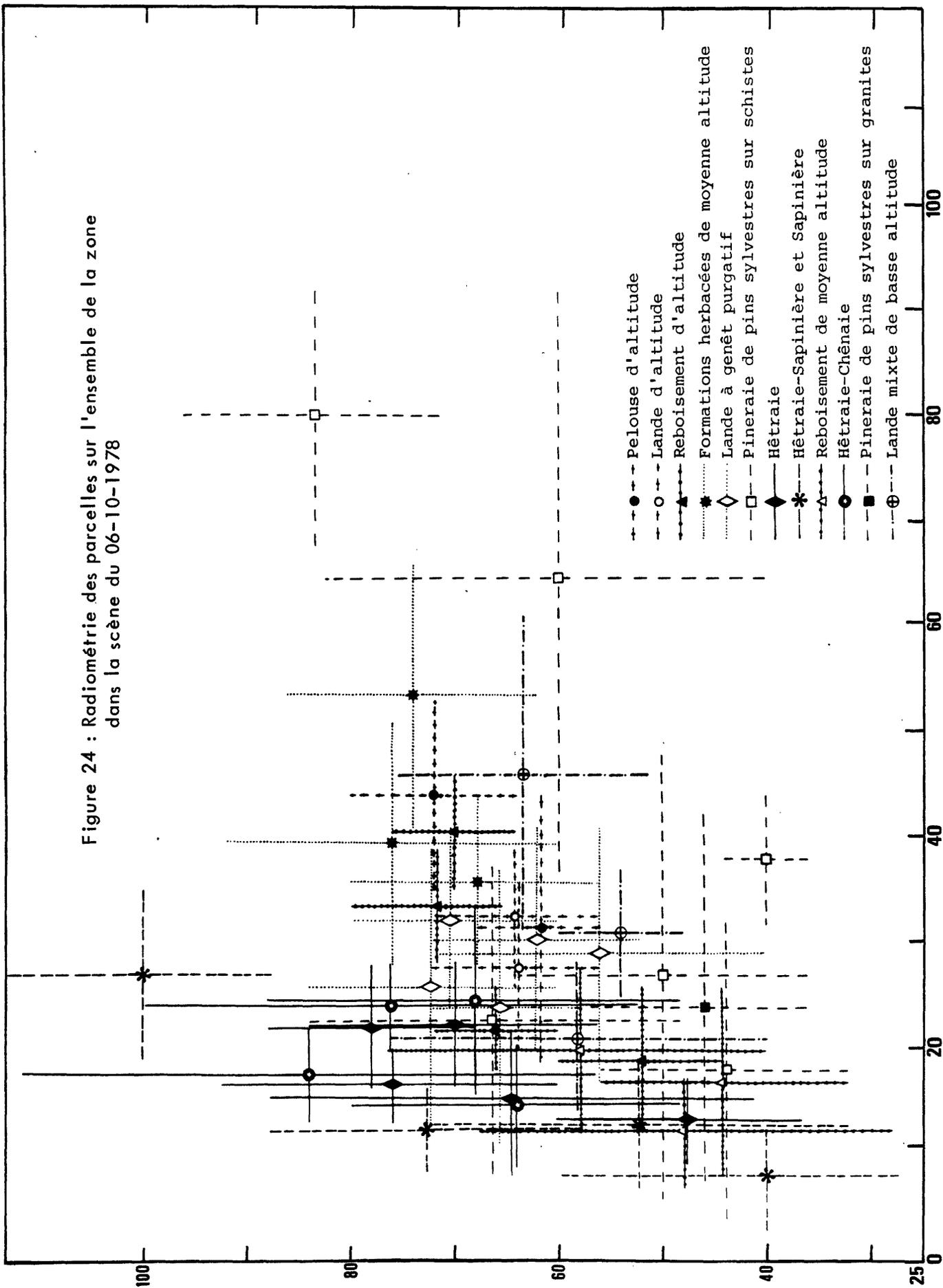
Les histogrammes des parcelles correspondantes ont généralement une dynamique trop importante pour que ces unités puissent être correctement identifiées. La composition complexe que laissent supposer ces distributions conduit à prévoir la reconnaissance des formations forestières plutôt que celle des unités écologiques à vocation ou affectation forestières. Deux autres caractéristiques des unités forestières spontanées sont importantes : il s'agit de l'homogénéité et de l'amplitude radiométrique des groupes formés par les parcelles des différentes unités (cette amplitude est nettement marquée dans le canal 7 aux deux dates).

La conséquence de ces trois caractères est un chevauchement important des radiométries des différentes unités. Leur discrimination paraît donc difficile et il faut s'attendre à des regroupements dans le traitement des images. Ainsi, les diagrammes radiométriques superposés montrent que pour les deux dates, la distinction résineux-feuillus est la seule réalisable avec de bonnes performances. Aussi, il est peu probable que les deux unités de pin sylvestre soient identifiables par leurs caractères spectraux. De même, les parcelles de hêtraie et de hêtraie-chênaie ont des radiométries pratiquement identiques.

Les unités écologiques d'affectation forestière (reboisement de haute et moyenne altitude) donnent des groupes hétérogènes de parcelles dans les tests d'homogénéité (sauf les reboisements de moyenne altitude en octobre). Les sous-groupes ainsi identifiés ont des radiométries identiques à celles de différentes unités écologiques. Par exemple, dans les reboisements de haute altitude, ce sont trois ensembles qui sont identifiables et dûs à l'âge des peuplements plantés (V-2 en 3). Aussi, dans une classification, il est vraisemblable que les parcelles de ces trois sous-groupes seront affectées à trois classes différentes :

- peuplements forestiers pour les reboisements anciens,
- landes pour les reboisements d'âge intermédiaires,
- pelouses ou landes d'altitude pour les reboisements récents.

Figure 24 : Radiométrie des parcelles sur l'ensemble de la zone dans la scène du 06-10-1978



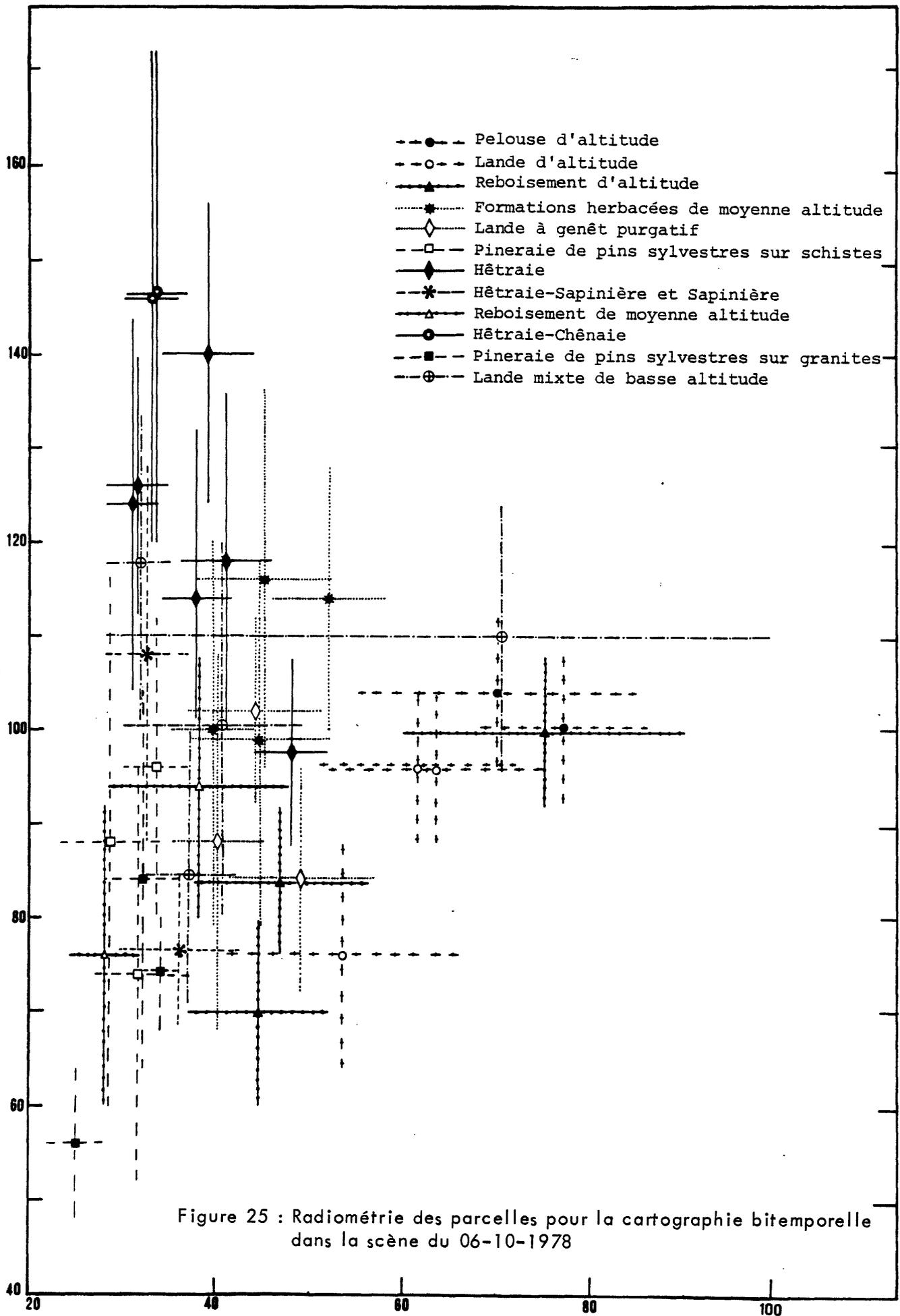
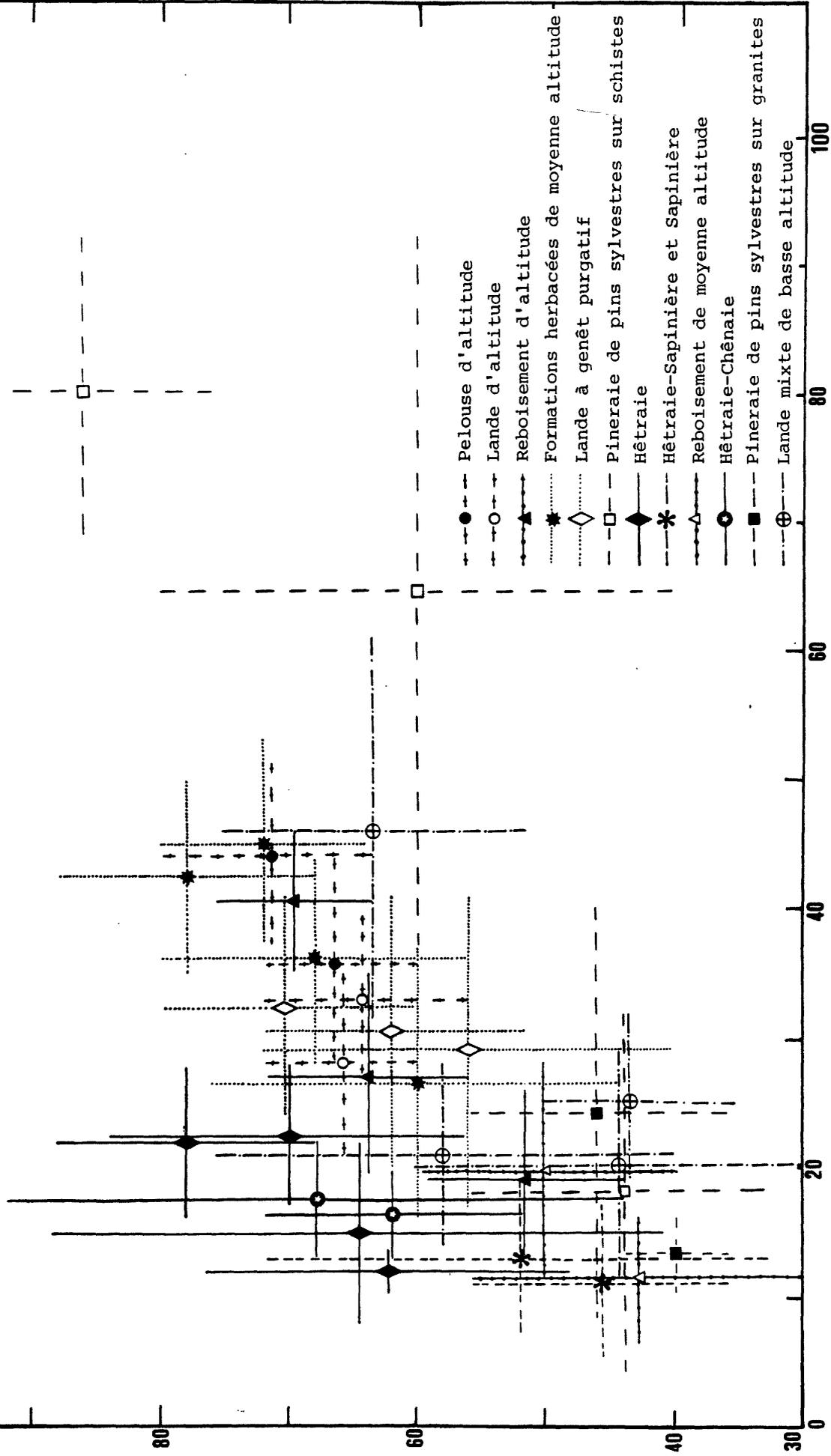


Figure 26 : Radiométrie des parcelles pour la cartographie bitemporale dans la scène du 06-10-1978



Il apparaît donc que cette unité de reboisements d'altitude ne pourra être identifiée en tant que telle. Quant aux reboisements de moyenne altitude, leurs positions radiométriques se superposent à celles des :

- peuplements forestiers résineux,
- landes à ligneux clairs.

Leur identification semble donc également difficile. Les reboisements ont donc une grande dispersion radiométrique, ce qui exclut de pouvoir discriminer une classe des reboisements.

Ces examens des diagrammes radiométriques et de la composition des unités et formations forestières correspondantes montrent que les réponses spectrales enregistrées dans la scène du 6 octobre 1978 se groupent en deux principaux ensembles :

1. les formations forestières résineuses,
2. les formations forestières feuillues.

Les formations forestières résineuses regroupent les sapinières, les pineraies de pin sylvestre et les reboisements anciens de pin à crochets. Les formations forestières feuillues réunissent les hêtraies, les hêtraies-chênaies et les peuplements contenant les essences associées.

L'utilisation des données de la scène du 2 juin 1978 n'apporte pas d'identification supplémentaire dans les formations résineuses et feuillues. Cependant, comme le montrent les commentaires des tests d'homogénéité (V-2 en 6, 7, 8, 10 et 11) la position marginale de certaines parcelles par rapport à l'ensemble d'un groupe correspond toujours à une station à peuplement mélangé. Or, la superposition des diagrammes radiométriques aux deux dates conduit à définir une zone radiométrique intermédiaire entre les peuplements purs. Cette caractérisation ne correspond pas à la hêtraie-sapinière mais plutôt aux stations situées en limites de futaies pures ou à des stations de reboisements en futaie feuillue. L'analyse bitemporelle permettrait donc une représentation de ces peuplements forestiers de mélange.

VI-2-b Landes

Les unités écologiques de cet ensemble sont les landes d'altitude, les landes à genêt et les landes mixtes de basse altitude. Ces unités forment des groupes radiométriques homogènes. Les distributions de ces parcelles montrent des populations unimodales à dynamique réduite.

Seules, des parcelles de la lande mixte de basse altitude ne suivent pas cette règle et révèlent, par leur hétérogénéité radiométrique, le caractère composite de cette unité. En effet, le milieu contient fréquemment des arbres épars ou des peuplements très clairs d'essences résineuses ou feuillues au-dessus des ligneux bas propres à la lande. Il consiste donc en un mélange d'espèces ligneuses hautes à recouvrement réduit (appartenant à diverses unités écologiques) et d'espèces caractéristiques du cortège de ces landes dans des proportions variables. Cette observation souligne la complexité de ce groupe d'unités de landes.

Cette lande mixte associée à la lande à genêt et à la lande d'altitude constitue un véritable continuum écologique et physionomique. Ces systèmes écologiques forment ainsi une juxtaposition de communautés végétales allant des futaies claires aux pelouses typiques (sans une discontinuité qui correspondrait à l'absence d'un stade d'évolution donné dans la zone). Les diagrammes montrent un phénomène identique pour les caractères spectraux : les positions radiométriques des landes forment une suite continue entre les futaies résineuses et les pelouses d'altitude. Dans ce domaine, des chevauchements existent aux limites et entraîneront des indéterminations et des ambiguïtés. Par exemple, les parcelles de landes à genêt qui ont les radiances les plus faibles dans le canal 5 ont des radiométries communes avec les formations forestières. Une partie d'entre elles (radiances faibles dans le canal 7) se superpose aux futaies résineuses en juin, principalement avec les pineraies, alors qu'une autre partie (radiances plus fortes dans le canal 7) se superpose aux futaies de hêtres et à certaines parcelles de hêtraie-chênaie. A l'autre limite de ce domaine spectral des landes (fortes radiances) certaines parcelles de landes d'altitude ont des radiométries identiques à celles des pelouses ou des formations herbacées. A l'intérieur de l'espace spectro-temporel occupé par les landes, il faut également noter le chevauchement très prononcé des landes à genêt et des landes d'altitude en octobre. Leur relative séparation dans la scène du 2 juin 1978 permet d'attendre une discrimination correcte des landes d'altitude dans l'analyse bitemporelle. Enfin, l'amplitude de l'aire spectrale des landes mixtes et celle des parcelles de reboisement d'altitude conduisent à l'impossibilité de discriminer ces landes des landes à genêt. Cependant, la zone d'étude retenue pour la cartographie bitemporelle étant réduite, certaines parcelles sont alors éliminées dans cette recherche des classes significatives. Les landes mixtes situées sur le Bougès-Nord apparaissent alors identifiables.

L'étude des diagrammes radiométriques des landes en fonction de leurs caractéristiques écologiques met donc en évidence deux groupes de réponses spectrales dans l'étude monotemporelle (6 octobre 1978) :

1. les landes boisées,
2. les landes d'altitude.

Les landes d'altitude correspondent à la définition de terrain alors que les landes boisées regroupent une partie des landes à genêt, une partie des landes mixtes, des reboisements d'âge intermédiaire (V-2 en 3) et des peuplements de ligneux hauts très clairs (landes en voie de colonisation).

Cette observation de la position radiométrique et de la composition physionomique des landes montre également les discriminations qui semblent possibles avec l'analyse bitemporelle. Il s'agit des :

1. landes boisées,
2. landes mixtes,
3. landes d'altitude.

L'intérêt de l'identification d'une telle nomenclature réside dans la nature écologique des objets ainsi cartographiés. En effet, les landes boisées représentent une phase d'évolution significative de la végétation, intermédiaire entre les

landes typiques et les systèmes écologiques à ligneux hauts et plus fermés. Les landes d'altitude constituent également une entité écologique puisqu'elles proviennent typiquement des pelouses d'altitude.

VI-2-c Pelouses

Le terme de pelouses regroupe ici les unités écologiques de pelouses d'altitude et de formations herbacées de moyenne altitude. Il inclut également toutes les formes d'évolution qui ne peuvent être classées avec les landes. Les parcelles de même origine écologique mais modifiées par une pression régulière du pâturage ou de l'exploitation sont assimilées à cet ensemble.

Le groupement radiométrique des parcelles de pelouses d'altitude est homogène mais certaines parcelles ont une dynamique étendue dans le canal 5. Différentes variantes peuvent donc exister et se trouver superposées aux formations herbacées de moyenne altitude. Cette dernière unité écologique présente également des groupes homogènes de parcelles dont la dynamique est plus grande dans le canal 7 (surtout dans la scène de juin).

Les variabilités et les positions dans les diagrammes de ces deux unités font que leur recouvrement radiométrique est important en octobre et moindre en juin. Il semble donc possible de discriminer deux catégories de pelouses dans la mesure où il n'y a pas de superposition avec des parcelles d'autres unités. Si les ambiguïtés éventuelles peuvent être levées, l'interprétation des tests d'homogénéité (V-2 en 2 et 4, fig. 13 et 15) indique que des différences de radiance peuvent provenir de l'intensité de la pression pastorale (et, par conséquent du degré de colonisation par le ganêt). Cependant, les pâturages peuvent toucher l'ensemble des physionomies ouvertes et des terrains de parcours, certaines zones des landes mixtes de basse altitude sont pâturées et prennent des physionomies proches de celles des prairies.

Deux groupes radiométriques correspondant aux deux catégories de pelouses suivantes paraissent ainsi identifiables :

1. les prairies et pelouses pâturées,
2. les pelouses typiques.

La première classe représente les pelouses et formations herbacées à pâturage alors que la seconde montre les pelouses typiques d'évolution vers la lande.

Deux groupes paraissent également identifiables dans l'analyse bitemporelle. Par contre, l'utilisation des données des deux scènes amène une définition thématique différente de ces deux classes. Dans l'étude bitemporelle, les formations herbacées apparemment identifiables correspondent mieux à la définition de la carte des unités écologiques. Les pelouses d'altitude conservent la même signification que dans l'analyse monotemporelle.

Comme pour les landes, l'intérêt de la reconnaissance de telles catégories d'objets au sol est constitué par leur signification écologique et non uniquement physionomique.

VI-2-d Conclusion

Dans le cas de la cartographie monotemporelle avec la scène du 6 octobre 1978 et par rapport à la nomenclature des unités écologiques il apparaît que :

- les reboisements ne sont pas identifiables,
- les deux unités de pins sylvestres ne sont pas discriminables,
- les futaies feuillues sont regroupées,
- les landes à genêt sont incluses dans une classe de landes plus large.

Il en ressort donc que 6 classes sont vraisemblablement identifiables dans le traitement de cette scène.

Sur le site restreint étudié en analyse bitemporelle, il apparaît que :

- les mêmes observations que pour la cartographie monotemporelle sont valables,
- une classe de peuplements mélangée feuillus-résineux semble pouvoir être individualisée,
- une représentation des formations herbacées soit possible.

Dans cette cartographie, 8 classes paraissent donc vraisemblablement identifiables.

L'ensemble de cette démarche préalable au traitement d'image montre clairement l'intérêt de développer ce type de co-assistance. Cette procédure devrait permettre une prévision intéressante de la nomenclature possible dans une cartographie automatique avant même que le traitement d'image soit effectué. En outre, une telle méthode ne nécessite aucune opération particulière mais exploite une information disponible puisque la pré-assistance taxinomique et la co-assistance sont indispensables.

CHAPITRE VII

TRAITEMENT DES DONNEES

ET

CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE

VII-1 METHODE DE CLASSIFICATION UTILISEE

VII-2 CARTOGRAPHIE MONOTEMPORELLE

VII-3 CARTOGRAPHIE BITEMPORELLE

L'objectif du traitement des données est d'obtenir une répartition géographique des pixels correspondant à une nomenclature thématique significative. La reconnaissance des points élémentaires de l'image apparus comme discriminables après la co-assistance spectro-temporelle conduit donc à une représentation pré-cartographique. Une telle utilisation de l'étude des caractéristiques spectrales des unités écologiques constitue un modèle de procédure thématique qui donne aux résultats des classifications une signification phytologique.

VII-1: METHODE DE CLASSIFICATION UTILISEE

Comme cela a été noté au chapitre II-3 (5), la méthode de classification employée dans cette expérience utilise un critère de position spectrale par rapport à des bornes. Cette méthode est arithmétique et ne comporte donc pas de calcul de distances.

Les variables nécessaires à sa description sont représentées comme suit :

- canal : $i = 1, k$ (espace \mathbb{R}^2 pour l'étude monotemporelle
et \mathbb{R}^4 pour l'étude bitemporelle)

- classe : $n = 1, p$

- échantillon : $e = 1, g$

En outre, soient : $b_{i,n,e}$ et $B_{i,n,e}$ les bornes inférieures et supérieures de l'échantillon e de la classe n dans le canal i pour 66 % de la population des pixels.

Après l'examen des caractéristiques spectrales des parcelles échantillons, il est calculé des bornes minimum et maximum (seuils radiométriques ou numériques) pour chaque classe d'objets C_n ($n=1, \dots, p$) et dans chaque canal $i = 1, \dots, k$ (coordonnée, dimension n spectrale). Soient $s_{i,n}$ et $S_{i,n}$ ces bornes inférieures et supérieures de la classe n dans le canal i . Elles sont obtenues par la moyenne des bornes correspondantes des échantillons :

$$s_{i,n} = \frac{\sum_{e=1}^g b_{i,n,e}}{g} \quad \text{et} \quad S_{i,n} = \frac{\sum_{e=1}^g B_{i,n,e}}{g}$$

La classification est exécutée de la façon suivante : un point x est attribué à la classe C_n ($x \in C_n$) si, pour le canal i , sa valeur est comprise entre les bornes $s_{i,n}$ et $S_{i,n}$.

Soit, si pour $x = (x_1, \dots, x_k) \in \mathbb{R}^k$

et $\forall i \in \{1, \dots, k\}$, $\forall n \in \{1, \dots, p\}$

$$\exists x \text{ tq } s_{i,n} \leq x \leq S_{i,n}$$

La figure 27 donne une représentation graphique de ce principe de classification par la méthode des bornes : affectation du point $x = (x_1, x_2)$ de \mathbb{R}^2 à la classe C_m .

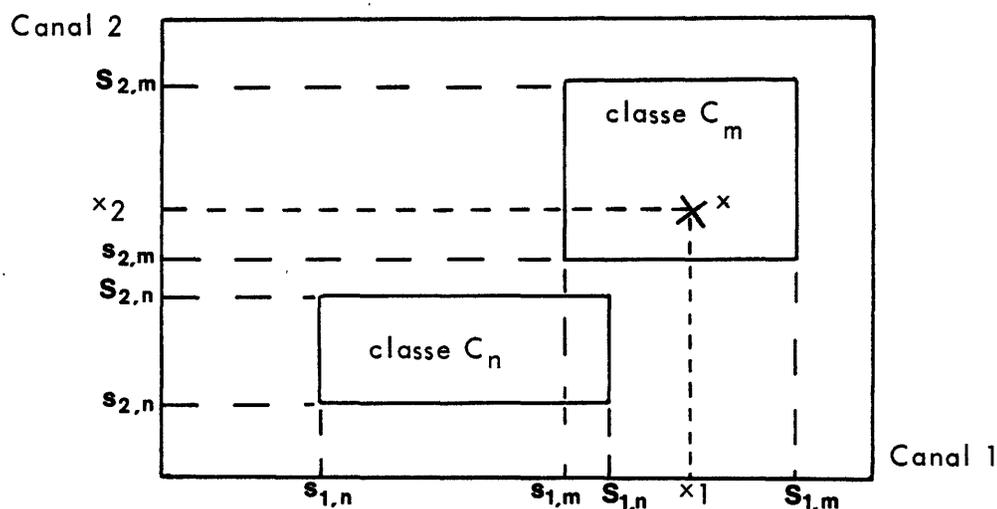


Figure 27 : Principe de la méthode des bornes (ou hypercubes)

Chaque classe C_n est donc définie dans \mathbb{R}^k par un hypercube. Cependant dans une classification, il peut exister des points n'appartenant à aucun hypercube. Tout point est non affecté et ainsi rangé dans les non-classés ($x \notin C_{1,p}$) si :

$$\forall_i \in \{1, \dots, k\} \quad , \quad \forall_n \in \{1, \dots, p\}$$

$$\exists x \in \mathbb{R}^k \text{ tq } s_{i,n} < x < s_{i,n+1}$$

$$\exists x \in \mathbb{R}^k \text{ tq } x > s_{i,p} \text{ et } x < s_{i,1}$$

Il est convenu de désigner par C_{n+1} la classe dont le point médian est immédiatement supérieur à celui de la classe C_n (dans la dimension considérée) et par C_1 et C_p les classes dont les points médians sont respectivement les plus petits et les plus grands dans la dimension considérée.

Par ailleurs, il peut exister dans une classification des points appartenant à l'intersection d'au moins deux hypercubes. Tout point a une appartenance multiple et est ainsi rangé avec les ambigus ($x \in C_n, x \in C_{n+1}$) si :

$$\forall_i \in \{1, \dots, k\} \quad , \quad \forall_n \in \{1, \dots, p\}$$

$$\text{et si } \exists s_{i,n+1} \text{ et } s_{i,n} \text{ tq } s_{i,n+1} < s_{i,n}$$

$$\exists x \in \mathbb{R}^k \text{ tq } x \in C_n \cap C_{n+1}$$

Remarque concernant la visualisation :

Si $k=1$, l'espace \mathbb{R}^k de traitement devient monodimensionnel. Cette méthode est alors un outil de visualisation puisque la classification

se ramène à une équidensité numérique. La même technique peut donc être utilisée dans les différentes phases de l'expérience pour les visualisations intermédiaires (exemples sur la totalité de la zone en figure 3 ou sur des sites plus restreints en figure 10).

Cette méthode peut paraître sommaire si l'on considère le cas simple donné par la figure 27. Pourtant, une utilisation plus efficace des bornes est possible avec une démarche multiphase. Pour cela, un logiciel de combinaison de classes a été mis au point au CESR dans le cadre de cette expérience. Il permet d'obtenir une classe d'objets par la somme ou par l'intersection de sous-classes définies en première phase par des hypercubes. Cette procédure multistade est employée des deux façons suivantes.

1. Dans le traitement d'une image donnée, la procédure conduit à affiner la définition de l'espace multidimensionnel d'une classe par la somme de sous-classes multiples (jusqu'à 58 dans le logiciel cité). La figure 28 donne un exemple de deux regroupements de ce type.

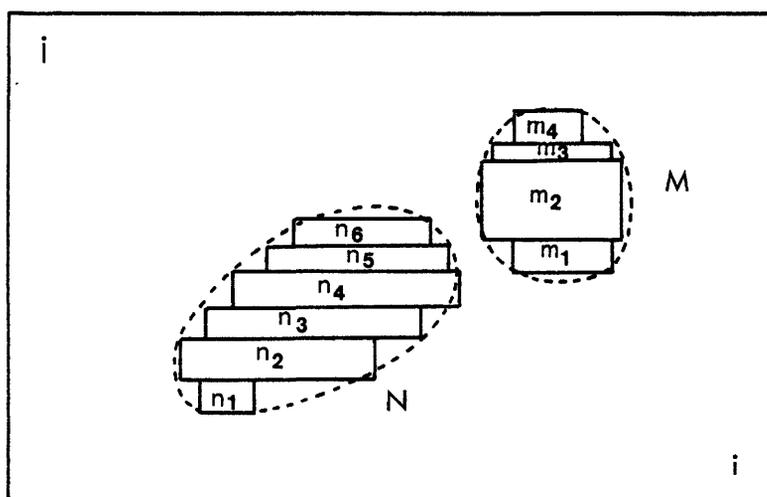


Figure 28 : Classes N et M obtenues par la définition des sous-classes n et m.

Cette représentation montre qu'à partir d'un algorithme simple, il est possible de déterminer une partition d'un espace TR^k où chaque sous-ensemble peut avoir une forme voisine de celles définies par diverses distances statistiques (exemple : ellipses dans TR^2 des méthodes quadratiques).

2. Dans le traitement d'images de différentes dates, la procédure permet la définition de classes par combinaisons de sous-classes provenant de scènes différentes et ayant une signification phénologique. Les figures 29 donnent une représentation schématique de sous-classes à combiner pour obtenir une classe d'objets particulière. Ainsi, les figures 29a et 29b montrent qu'une classe thématique peut résulter de la combinaison des classes spectrales 2

pour la première date (figure 29a) et B pour la seconde date (figure 29b). Le module de combinaison exécute le traitement avec seulement 2 indices fournis par l'utilisateur ($2_i * B_j \rightarrow C_n$, voir tableau 11 pour l'utilisation générale) alors que l'obtention analytique de la classe C_n nécessiterait 9 combinaisons (3 classes 2 et 3 classes B avec $i = 1, 3$ et $j = 1, 3$).

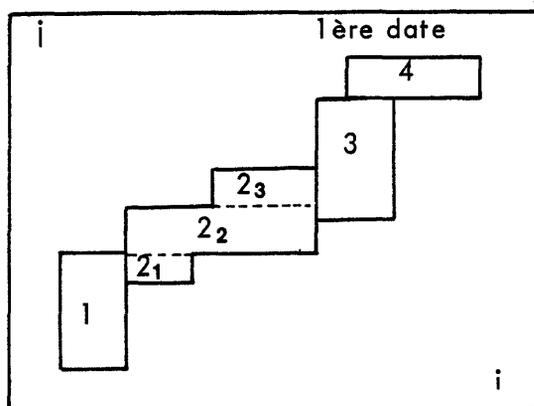


Figure 29a

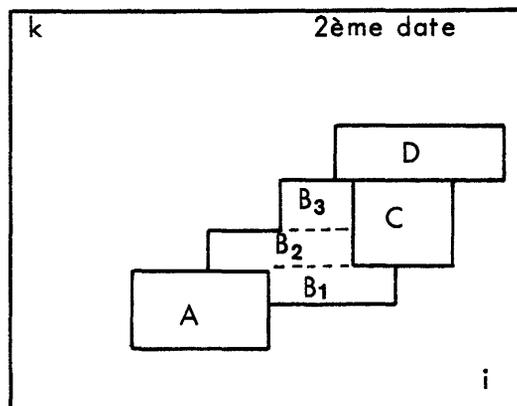


Figure 29b

Figures 29 : Sous-classes définissant une classe C_n par combinaison de 2 indices.

L'utilisation de cette méthode peut être interactive. Ainsi, différents contrôles sont effectués après une première application de ce traitement. Si des classes apparaissent artificiellement séparées ou regroupées par rapport aux données connues, les bornes sont déplacées jusqu'à satisfaction des contrôles. Ces itérations sont parfois nécessaires lorsque les données ne permettent pas une reconnaissance satisfaisante des classes identifiées dans la recherche des objets thématiques discriminables. Elles constituent une phase de co-assistance numérique dans l'ensemble de la méthodologie développée dans cette expérience.

Tout en conservant une approche supervisée, cette technique permet de s'affranchir de la localisation géographique précise d'échantillons. Le caractère assisté de cette procédure n'est pas mis en cause mais il montre la possibilité d'utiliser une notion "d'échantillon spectral" par opposition à la notion traditionnelle du site d'apprentissage parfaitement localisé. En effet, même si l'ensemble d'une zone test n'a pas une radiance caractéristique, l'obtention d'une réponse spectrale significative peut découler de cette information sans localisation géographique supplémentaire comme cela est montré en V-1. Cette procédure présente donc l'intérêt de disposer de bornes radiométriques fournies par la co-assistance spectrale sans repérage spatial spécifique. Dans le cas présent, ces données proviennent de l'analyse d'homogénéité et de la recherche des classes thématiques discriminables.

VII-2 CARTOGRAPHIE MONOTEMPORELLE

La cartographie monotemporelle utilise uniquement la scène du 06-10-1978 sur la totalité de la zone étudiée.

Pour la réaliser, il est nécessaire de disposer de l'ensemble des bornes $s_{i,n}$ et $S_{i,n}$ des classes apparemment discriminables d'après le chapitre VI-2. Comme cela a été indiqué en VII-1, ces seuils sont calculés avec les bornes résultant des tests d'homogénéité spectrale des unités écologiques (V-2).

Dans une première phase, l'application de la co-assistance et de la méthode de classification des hypercubes conduit à la définition de populations significatives selon la nomenclature ajustée. Cependant, deux cas d'insatisfaction se présentent généralement :

- il existe des points non-classés (entre les bornes de deux classes)
- il existe des points ambigus (communs à 2 ou plusieurs classes).

Une seconde phase intervient alors comme une première itération presque toujours nécessaire. Elle a pour but de déplacer les bornes $s_{i,n}$ et $S_{i,n}$ pour affecter les points non-classés ou ambigus. Ces seuils sont déplacés jusqu'à leur juxtaposition dans les 2 cas déjà cités, c'est-à-dire lorsque :

$$\begin{aligned} \exists x \in \mathbb{R}^k \text{ tq } S_{i,n} < x < s_{i,n+1} \\ \text{ou } \exists x \in \mathbb{R}^k \text{ tq } s_{i,n+1} < x < S_{i,n} \end{aligned}$$

Ces déplacements sont fonction de la densité de présence des parcelles d'une classe par rapport aux parcelles de la classe voisine telle que peut l'indiquer (par exemple) un diagramme du type de la figure 24. L'inertie de ces bornes est évidemment liée aux densités des populations à ces limites. Cette phase aboutit à une représentation des classes telle que celle de la figure 27.

Une troisième phase est souvent nécessaire. Elle constitue la première itération proprement dite dans une utilisation interactive. Elle consiste à modifier les valeurs des $s_{i,n}$ et $S_{i,n}$ pour parvenir à une meilleure classification en définissant des classes plus significatives par des sommes de sous-classes (figure 28).

Cette démarche conduit à un tableau de bornes (exemple du tableau pour la cartographie monotemporelle) qui seront appliquées à l'image extraite selon le protocole du chapitre IV et dont une visualisation est donnée par la figure 3. La classification donne ainsi une cartographie de répartition des pixels de chaque classe.

CLASSES	SOUS-CLASSES	BORNES RADIOMETRIQUES			
		Canal 5		Canal 7	
1	1	0	20	0	51
2	2	0	22	52	82
	3	0	35	83	255
3	4	21	100	0	51
4	5	23	35	74	82
	6	23	100	52	62
5	7	43	100	63	73
	8	36	255	74	255
	9	non-classés		non-classés	
6	10	23	42	63	73

Tableau 7 : Bornes radiométriques de la classification monotemporelle.

Dans le cas présent, ce tableau et la classification qui en résulte ont été obtenus avec une itération (du type troisième phase) après le premier traitement qui avait surestimé les résineux et réduit les landes boisées. La cartographie obtenue répond à la nomenclature proposée dans la recherche des classes discriminables. La composition des taxons semble correspondre à celle qui était prévue et se trouve résumée dans le tableau 8 pour les 6 postes de nomenclature.

CLASSES	NOMENCLATURE	DEFINITION THEMATIQUE
1	Formations forestières résineuses	Sapinières, Pineraies de pin sylvestre, reboisements anciens de pin à crochets.
2	Formations forestières feuillues	Hêtraie, chênaie et essences associées.
3	Landes boisées	Landes à ligneux, landes à genêts et landes mixtes.
4	Landes d'altitude	Landes typiques d'altitude et landes imbriquées avec les pelouses.
5	Pelouses pâturées	Pelouses et formations herbacées à pâturage.
6	Pelouses d'altitude	Pelouses typiques d'évolution vers la lande.

Tableau 8 : Composition thématique des taxons de la classification monotemporelle.

VII-3 CARTOGRAPHIE BITEMPORELLE

La cartographie bitemporelle exploite les deux scènes du 2 juin 1978 et du 6 octobre 1978. Elle concerne la partie centrale de la zone étudiée. Ce site (présenté par la figure 30) a été retenu pour deux raisons :

- des nuages perturbent l'image du 2 juin 1978 sur les extrémités Est et Ouest du Mont-Lozère.
- la partie centrale de l'unité Mont-Lozère -Bougès-Nord est celle qui contient les systèmes écologiques les plus complexes.

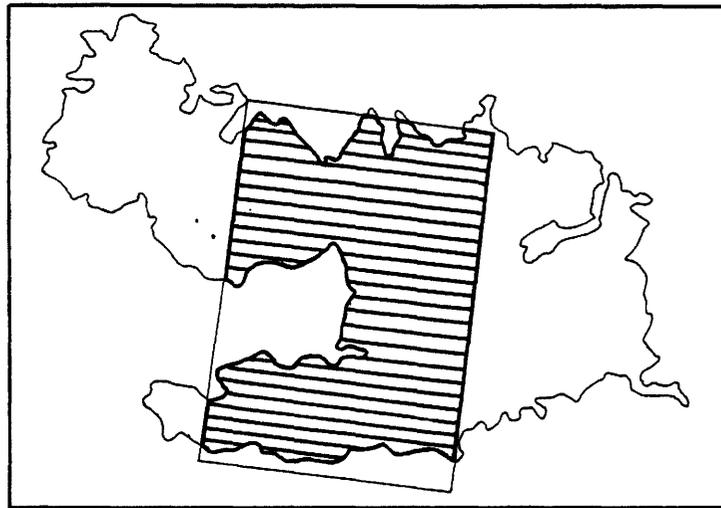


Figure 30 : Zone couverte par la cartographie bitemporelle.

Les données traitées proviennent des canaux 5 et 7 des deux scènes. Le traitement s'applique donc dans un espace à 4 dimensions ($k = 4$). La méthode employée est la classification par définition des hypercubes dans les deux dates.

Ainsi, les pixels de chaque scène sont affectés dans des sous-classes comme pour une cartographie monotemporelle. La première phase de co-assistance et de classement est exécutée avec les résultats des tests d'homogénéité (V-2). La seconde phase d'élimination des points non-classés ou ambigus utilise les diagrammes des figures 25 et 26. Une troisième phase conduit à des classes ayant principalement une réalité physionomique sur le terrain et correspondant à l'approche de la figure 29. Les bornes définissant ces sous-classes (ou classes monotemporelles) sont données dans le tableau 9 pour la scène du 2 juin 1978 et dans le tableau 10 pour la scène du 6 octobre 1978. Les données contenues dans ce tableau 10 sont évidemment voisines de celles du tableau 7. Cependant, deux causes contribuent à un résultat différent des regroupements radiométriques de parcelles. D'une part, le nombre est réduit et entraîne une distribution modifiée dans TR^2 et, d'autre part, les regroupements de sous-classes sont différents et donnent des hypercubes différents.

CLASSES	SOUS-CLASSES	BORNES RADIOMETRIQUES			
		canal 5		canal 7	
1	1	0	37	0	95
2	2	0	43	108	142
	9	0	37	96	107
3	3	0	66	143	255
4	4	44	66	108	142
	5	38	53	87	107
5	6	54	66	87	107
	7	38	66	0	86
6	8	67	255	0	255
7	10	non-classé		non-classé	

Tableau 9 : Bornes radiométriques en Juin pour la classification bitemporelle.

CLASSES	SOUS-CLASSES	BORNES RADIOMETRIQUES			
		canal 5		canal 7	
1	1	0	20	0	51
2	2	0	22	52	82
	3	0	35	83	255
3	4	23	42	63	73
	5	23	35	74	82
	6	23	100	52	62
4	7	21	100	0	51
5	8	43	100	63	73
	9	36	255	74	255
	10	non-classé		non-classé	

Tableau 10 : Bornes radiométriques en Octobre pour la classification bitemporelle.

La combinaison de ces classes intermédiaires (classes monotemporelles) fournit les classes définitives de la cartographie bitemporelle. Cette opération est effectuée selon les ordres contenus dans le tableau 11.

CLASSES BITEMPORELLES	COMBINAISONS DES CLASSES MONOTEMPORELLES	COMBINAISONS DES SOUS-CLASSES	NUMERO DE COMBINAISONS
1	1 * 1	101 * 201	1
2	2,3 * 1	102,103,109 * 201	2
3	2,3 * 2	102,103,109 * 202,203	3
4	1 * 2	101 * 202,203	4
	4 * 1,2	104,105 * 201,202,203	5
	5 * 1	106,107 * 201	
5	1,2,3 * 3,4,5	101,102,103,109 * 204,205,206 207,208,209 210	7
	4 * 3	104,105 * 204,205,206	8
6	5 * 2,3,4	106,107 * 202,203,204 205,206,207	9
	6 * 1,2	108 * 201,202,203	10
7	4 * 4,5	104,105 * 207,208,209,210	11
	5 * 5	106,107 * 208,209,210	12
8	6 * 3,4,5	108 * 204,205,206,207 208,209,210	13
	7 * 1,2,3,4,5	110 * 201,202,203,204,205 206,207,208,209,210	14

Tableau 11 : Combinaisons des classes pour la cartographie bitemporelle.

Dans ce tableau, la première colonne indique l'ordre des classes définitives ("classes bitemporelles") de la nomenclature cartographiée. La deuxième colonne indique les combinaisons ou les groupes de combinaisons des classes monotemporelles (données par les premières colonnes des tableaux 9 et 10). La troisième colonne indique le détail de ces combinaisons avec les sous-classes monotemporelles (données par les deuxièmes colonnes des tableaux 9 et 10). Chacune de ces sous-classes est représentée par un nombre de trois chiffres où le premier correspond à la date (1 pour la première date, 2 pour la deuxième date) et les deux suivants aux numéros de sous-classes monotemporelles concernées. La quatrième colonne indique le numéro de combinaison et fait apparaître qu'avec un total de 14 ordres de combinaison, il est possible de provoquer les 100 combinaisons élémentaires significatives. Le logiciel utilisé n'est donc pas saturé puisqu'il peut traiter jusqu'à 58 ordres de combinaison.

La localisation des pixels appartenant aux 8 classes retenues donne la cartographie bitemporelle recherchée. Le résultat obtenu semble donner une répartition satisfaisante (voir Evaluation) avec la nomenclature prévue. La composition des taxons correspondants est donnée par le tableau 12.

Classes	Nomenclature	Définition thématique
1	Formations forestières résineuses	Sapinières, pineraies de pins sylvestres, reboisements anciens de pins à crochets.
2	Mélange résineux-feuillus	Peuplements mélangés des limites entre formations résineuses et feuillues, reboisements dans les massifs feuillus.
3	Formations forestières feuillues	Hêtraie, chênaie et mélange hêtraie-chênaie.
4	Landes boisées	Landes à ligneux clairs, reboisements et landes à genêts.
5	Landes mixtes	Landes en mosaïque de basse altitude et reboisements récents.
6	Landes d'altitude	Landes typiques à ligneux bas.
7	Formations herbacées	Complexes herbacées, terrains de parcours, pâtures et prairies.
8	Pelouses d'altitude	Pelouses typiques d'altitude.

Tableau 12 : Composition thématique des taxons de la classification bitemporelle.

CHAPITRE VIII

EVALUATION

VIII-1 METHODE D'EVALUATION

VIII-1-a Généralités

VIII-1-b Approche analytique : évaluation spatialisée

1. Principe
2. Acquisition des données
3. Traitement

VIII-1-c Approche synthétique : évaluation globale

1. Comparaison de superficies et de populations
2. Evaluation visuelle
3. Synthèse

VIII-2 EVALUATION DE LA CARTOGRAPHIE MONOTEMPORELLE

VIII-2-a Evaluation spatialisée

VIII-2-b Evaluation globale

VIII-3 EVALUATION DE LA CARTOGRAPHIE BITEMPORELLE

VIII-3-a Evaluation spatialisée

VIII-3-b Evaluation globale.

VIII-1 METHODE D'EVALUATION

VIII-1-a Généralités

D'une manière générale et dans le domaine concernant cette expérience de télédétection, l'évaluation a pour but d'estimer la précision des résultats cartographiques provenant du traitement des images spatiales. Il s'agit d'une estimation car une mesure nécessiterait le contrôle de tous les pixels classés avec les points correspondants au sol.

Peu de travaux portant sur la cartographie automatique des thèmes de l'occupation des terres par télédétection rendent compte de méthodes d'évaluation. Pourtant, celle-ci a été souvent pratiquée pour apprécier les cartes produites par photointerprétation conventionnelle (exemple : YOUNG, 1956). Après une désaffection certaine pendant la première décennie d'observation spatiale de la terre, quelques publications récentes montrent un regain d'intérêt pour la codification de cette opération. En particulier, les sources d'erreur sont répertoriées (LINS, 1976) et généralement regroupées en trois causes principales :

- l'influence d'une fonction de transfert complexe des systèmes d'acquisition et de prétraitement.
- les performances de l'analyse des données et de la représentation cartographique.
- la qualité d'identification de la taxinomie thématique étudiée ou recherchée.

La précision des résultats cartographiques peut alors être évaluée à travers les trois composantes suivantes (HORD, 1978) :

- la précision de localisation d'un pixel de l'image (fonction de l'attitude du véhicule spatial et des conditions géométriques de l'acquisition).
- la précision de la délimitation des parcelles représentées (phénomène conditionnant l'exploitation par stratification ou segmentation).
- la précision de l'identification multidimensionnelle proprement dite (très liée à la délimitation, constitue le résultat fondamental à apprécier).

Dans cette expérience, c'est ce dernier point qui est essentiellement pris en considération comme but de l'évaluation. Ainsi, comme cela a été noté au chapitre IV, les contraintes dues aux problèmes de géométrie de l'image ne sont pas prises en compte. Deux observations doivent être retenues comme conditions aux limites pour toute estimation

de la précision :

- il existe une limite théorique indiquant la meilleure précision possible d'une expérience de télédétection. Elle est définie par le taux de pixels thématiquement "purs" dans l'image utilisée (FLOUZAT, 1978). En pratique, une grande partie des pixels complexes a une radiométrie peu modifiée par la présence simultanée de plusieurs taxons thématiques dans une même surface élémentaire. Cette notion de limite indique qu'une précision absolue est théoriquement impossible et pratiquement est fonction de la résolution géométrique du capteur et de la taille du parcellaire étudié. Cette observation montre la liaison avec les deux premières composantes de la précision.
- l'évaluation de la précision n'a qu'une valeur relative puisqu'elle utilise dans la plupart des cas (YOUNG, RUDD, LINS, ...) une représentation du terrain (cartes thématiques, photographies aériennes) et rarement le site lui-même comme référence. C'est cette référence qui est alors considérée comme vraie. La disponibilité d'informations totales du terrain est évidemment à exclure (sauf pour les études de méthodologie). En effet, un tel cas rend inutile une opération de cartographie automatique d'un thème de l'occupation des terres.

Dans ce contexte, l'évaluation de la précision d'identification peut se concevoir par les deux approches complémentaires qui sont proposées dans cette expérience : il est convenu de les appeler ici approche analytique ou évaluation spatialisée et approche synthétique ou évaluation globale.

VIII-1-b Approche analytique : évaluation spatialisée

L'approche analytique d'une évaluation consiste à observer des sites (repérés sur la carte et sur l'image) indépendamment les uns des autres. Ce type d'approche est ainsi nommé "spatialisé".

1. Principe

L'évaluation de la précision qui est proposée étant une estimation et non une mesure, l'opération nécessite un sondage. Son principe repose donc sur l'exécution de ce sondage dans lequel sont relevées la classe thématique (sur la référence de terrain) et la classe spectrale (sur le résultat du traitement d'image) en chacun des points retenus.

L'acquisition des données doit répondre à deux conditions pour que le sondage ait une représentativité statistique satisfaisante :

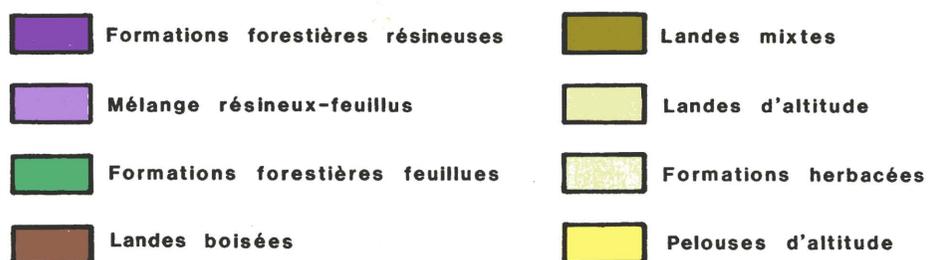
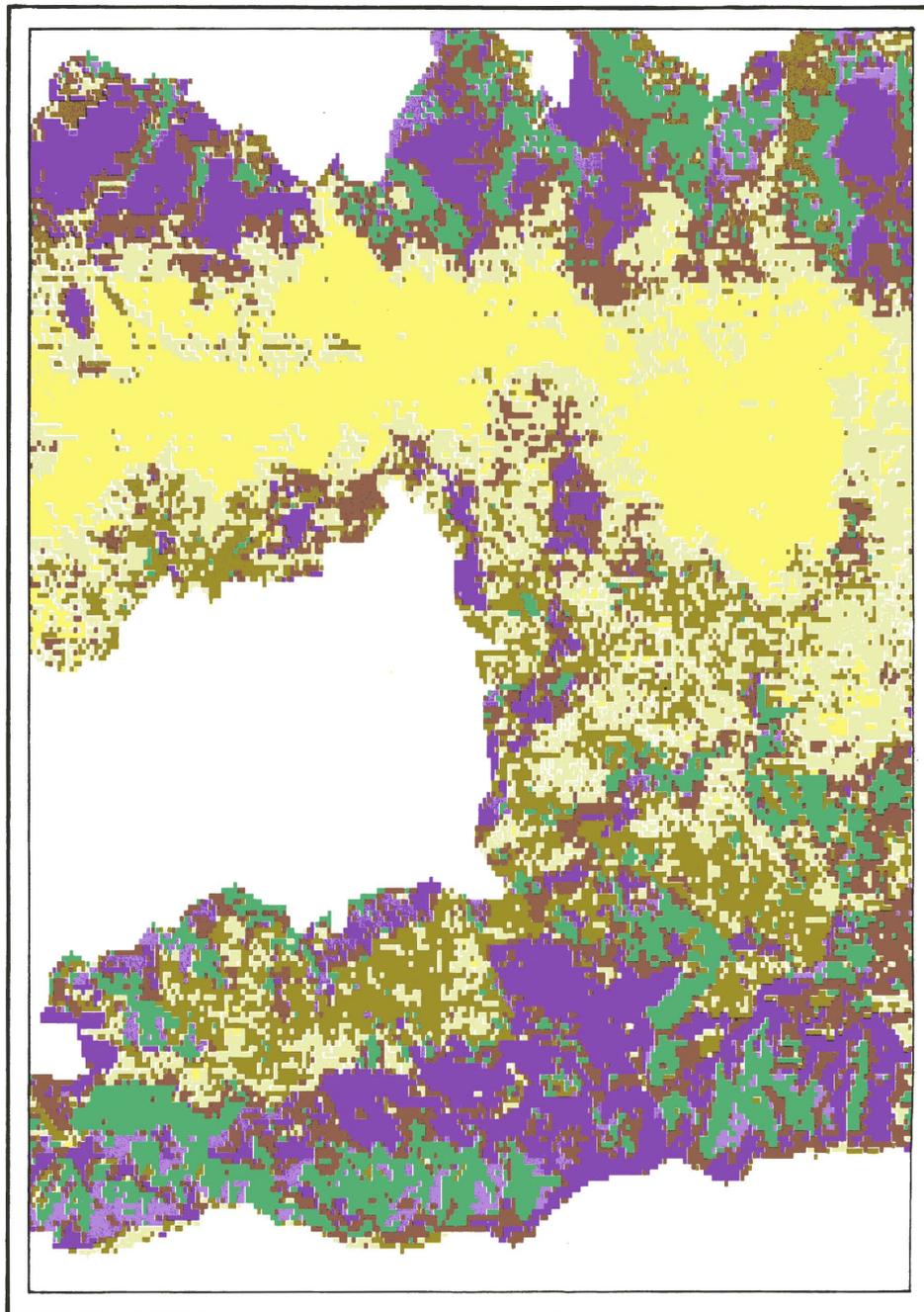
- le nombre de points observés doit être significatif
- la localisation des points doit couvrir le territoire de façon homogène.

Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements
PARC NATIONAL DES CEVENNES

**Cartographie bitemporelle des formations végétales de l'unité Mont-Lozère-Bouges-Nord
par télédétection spatiale**

Scènes Landsat 2 n: 212-29 du 02-06-1978 et du 06-10-1978

G. Flouzat



L'ensemble des observations ainsi levées conduit à des fréquences de présence de certains couples de taxons (classe thématique, classe spectrale). Ces données sont ensuite exploitées pour fournir les informations suivantes qui sont recherchées par l'évaluation (VAN GENDEREN et LOCK, 1977 ; HAY, 1979) :

- Taux d'ensemble des pixels bien classés
- Taux de pixels bien affectés dans une classe donnée
- Taux de sites bien reconnus dans une classe donnée
- Surestimation ou sous-estimation d'une classe donnée
- Distribution aléatoire ou systématique des erreurs.

Pour dégager ces informations, les données sont d'abord traitées selon une même technique par la majorité des auteurs : elles sont ordonnées en tables d'évaluation. Ces tables sont construites comme des tableaux de contingence qui ont un nombre égal de variables d'état (ou caractères de classement) sur les deux entrées. Cette propriété est la conséquence de l'ajustement des nomenclatures thématique et spectrale dans la phase de co-assistance. L'exploitation de ces tables peut ensuite suivre des voies différentes :

- exploitation directe des valeurs obtenues dans le sondage
- calcul des nombres de points oubliés et confondus par classe
- calcul de deux tables d'évaluation normalisées
- calcul de divers indices de précision de la cartographie
- calcul des intervalles de confiance de ces précisions.

Dans le cas de la présente expérience, une synthèse est réalisée avec ces différentes techniques. Deux tables d'évaluation normalisées sont utilisées et servent à calculer les taux de points oubliés ou confondus. Le type de dispersion de ces points est caractérisé et une précision d'ensemble est ensuite calculée.

La démarche expérimentale de cette évaluation pourrait être différente. En effet, si le traitement des données était effectué après la phase de pré-assistance, le nombre des caractères de classement serait différent dans les deux entrées des tables de contingence. L'évaluation pourrait alors consister à regrouper les fréquences observées dans plusieurs caractères jusqu'à l'obtention d'une diagonale satisfaisante. Cette méthode peut être qualifiée de post-assistance (au sens de VERGER, 1977) mais ne correspond pas à l'esprit de la démarche supervisée de cette expérience.

2. Acquisition des données

L'acquisition des observations est définie dans une première phase par le nombre de points nécessaires pour que le sondage soit significatif. Cette notion est bien connue et a été largement utilisée pour évaluer la précision

de cartes traditionnelles obtenues par photointerprétation (YOUNG, 1956). Néanmoins, la diversification des images disponibles a entraîné des études récentes sur la dimension de l'échantillon représentatif. La détermination de la dimension totale est souvent considérée comme une conséquence du nombre de points nécessaire par classe. Pratiquement, HORD (1976), VAN GANDEREN (1977), HAY (1979) et GINEVAN (1979) montrent qu'il faut de 30 à 50 points par classe pour que la précision par catégorie et la précision globale soient satisfaisantes. En général, ces travaux indiquent que ces observations doivent être assorties des calculs d'intervalles de confiance pour que l'estimation de la précision soit convenable.

Lorsque le nombre de points nécessaires à l'évaluation est déterminé, il reste à localiser les sites à observer. Deux types de techniques sont disponibles. Ils forment des variantes multiples mais proviennent des deux principes de sondage : aléatoire ou systématique.

Les sondages aléatoires sont les plus justifiés mais leur emploi implique souvent une stratification (RUDD, 1971 ; VAN GANDEREN, 1977 ; HAY, 1979). Deux démarches sont possibles. La première consiste à relever des observations jusqu'à satisfaction du nombre de points nécessaires dans la classe la moins représentée. La seconde consiste à ne pas retenir toute observation rencontrée dans une classe où ce nombre de points est déjà atteint. La disponibilité d'un opérateur automatique permet de réaliser ce type de sondage avec efficacité sur des cartes numérisées (FITZPATRICK - LINS, 1981). Ceci est intéressant pour la cartographie automatique du milieu naturel par télédétection où les résultats graphiques sont obtenus sous forme numérique.

Les sondages systématiques sont moins utilisés en évaluation cartographique. Cependant, la grille d'échantillonnage régulier peut être satisfaisante s'il n'existe pas de phénomènes périodiques dans le paysage (LINS, 1976). Une formule intermédiaire est appliquée par le Ministère de l'Agriculture (SCEES) sur le territoire français dans ses enquêtes d'utilisation du sol. Cette technique résulte des mêmes principes fondamentaux de représentativité mais avec le but unique d'estimer la superficie occupée par des classes de populations déterminées. Après une stratification régionale, les zones d'observation sont définies par des photographies aériennes réparties systématiquement. Différentes densités de zones peuvent être retenues dans une même région selon les études. Sur ces images, deux grilles sont portées de façon aléatoire. Les points d'observation sont localisés précisément sur le terrain aux noeuds de ces grilles. Cette méthode pourrait également servir de guide dans l'évaluation de résultats cartographiques de télédétection.

La nature des observations à réaliser dans ces sondages est évidente pour les données spatiales : il s'agit du taxon spectral identifié par la classification. Cette évidence n'existe pas pour les données du terrain. Comme il est difficile de contrôler un pixel dans le paysage qu'il

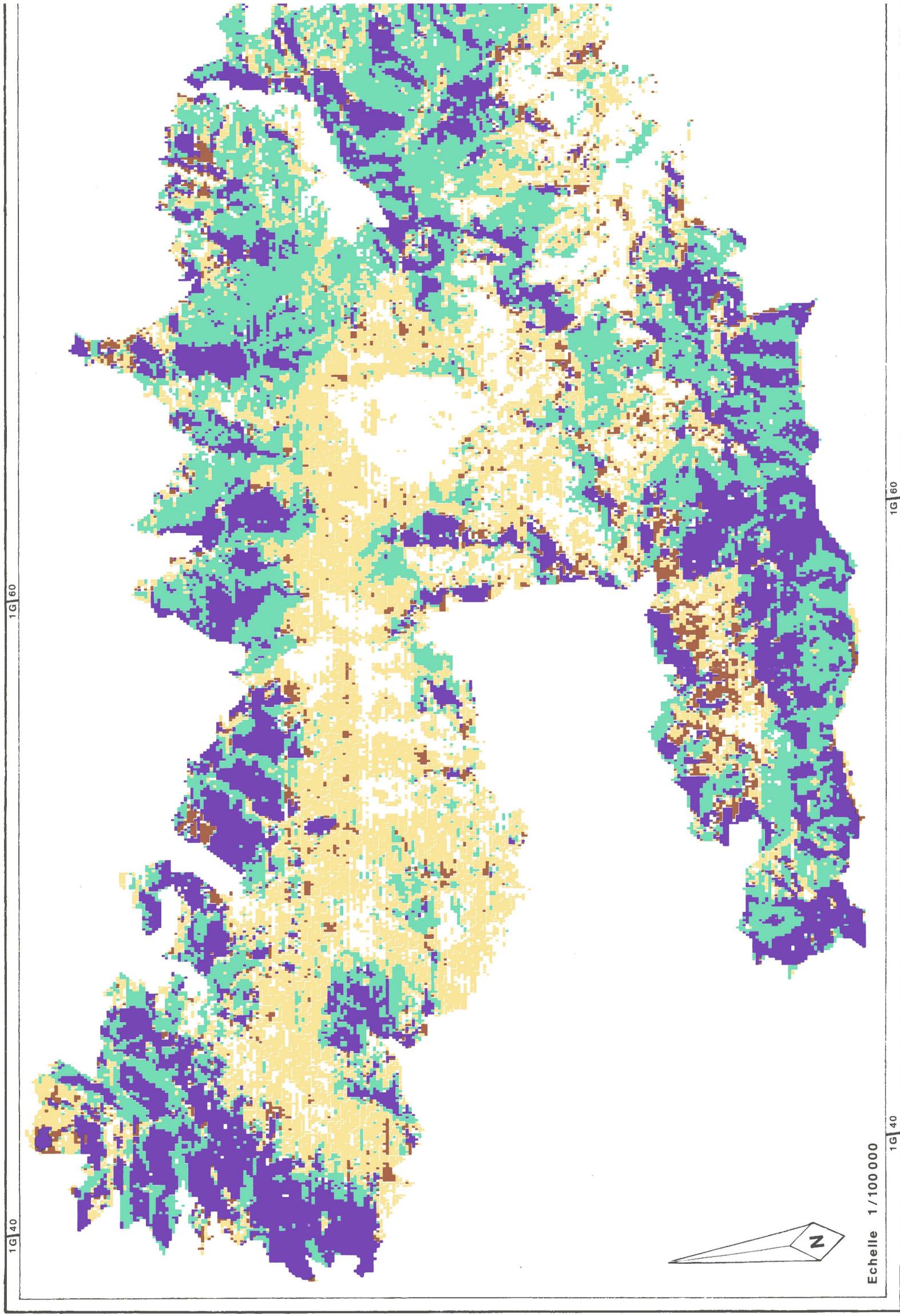
Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements

PARC NATIONAL DES CEVENNES

Cartographie monotemporelle des formations végétales de l'unité Mont-Lozère-Bouguès-Nord
par télédétection spatiale

Scene Landsat 2 n:212-29 du 06-10-1978

G. Flouzat



Formations forestières résineuses

Formations forestières feuillues

Landes boisées

Landes d'altitude

Pelouses pâturées et prairies

Pelouses d'altitude

Echelle 1/100 000

représente, l'information est souvent obtenue par des photographies aériennes de la même époque que l'imagerie spatiale traitée. (En effet, le but de cette expérience n'est pas d'évaluer la précision de localisation). De plus, des renseignements complémentaires sont fréquemment utilisés. Ils sont nécessaires puisqu'une phase de co-assistance complexe existe souvent dans la méthode utilisée en cartographie automatique des thèmes de l'occupation des terres par télédétection. Dans l'expérience menée sur l'unité régionale Nord du Parc National des Cévennes et compte tenu des techniques disponibles, l'acquisition des données est réalisée par un sondage manuel, de façon aléatoire et stratifiée. Le nombre de points est en moyenne de 50 pour chaque classe thématique. Les informations de terrain sont levées à l'aide des données disponibles décrites dans le chapitre III.

3. Traitement

Le premier traitement des observations relevées consiste à établir la matrice de sondage. Cette matrice est le tableau de contingence donnant les nombres de points rencontrés pour toutes les combinaisons des couples (classe thématique, classe spectrale). Une exploitation qualitative directe des valeurs recueillies peut être faite pour réaliser l'évaluation proprement dite. Cette technique d'utilisation du sondage est fréquente. Cependant, son exploitation quantitative directe est plus souvent effectuée : elle provient du calcul du taux de points contenus dans la diagonale par rapport au total des points observés. De nombreux travaux du CRINC (Kansas) emploient cette procédure comme une méthode de routine. L'information obtenue est appelée précision d'ensemble. Cette donnée peut être calculée par une autre voie (REEVES, 1977) qui consiste à déterminer les précisions par groupes de deux classes. Chaque groupe est formé d'une classe et de la somme des autres classes et donne donc une matrice à deux caractères de classement. Une probabilité de classement correct global est ensuite obtenue avec les précisions intermédiaires. Elle se trouve assortie d'un intervalle de confiance.

Le second traitement des observations du sondage provient du premier auquel sont ajoutés les taux de points oubliés ou confondus en lignes et colonnes du tableau. La table d'évaluation obtenue est la matrice d'omissions-commissions principalement développée et employée par le "Forestry Remote Sensing Laboratory" et la "School of Forestry" (Californie ; COLWELL, 1969 ; LAUER, 1971 ; etc.). Dans cette matrice apparaissent les nombres de points oubliés et confondus et le pourcentage correspondant par classe. L'interprétation reste du même type que dans le premier traitement avec le calcul du taux de classement correct total.

Un troisième traitement consiste à construire deux matrices distinctes. Une première technique (HAY, 1979) utilise d'abord la table de contingence avec un échantillonnage aléatoire. Celle-ci permet d'interpréter les observations au sol en fonction de leurs fréquences dans les classes spectrales correspondantes. Il apparaît une indication de la précision d'ensemble (comme dans les autres traitements) mais également les proportions de bons classements. Le sondage est ensuite repris par un complément d'échantillonnage

stratifié (une strate correspond à une classe). Cette seconde phase conduit à une nouvelle matrice permettant d'évaluer de façon significative l'ensemble des classements puisque le nombre d'observations est suffisant dans toutes les classes.

Une seconde technique (FLOUZAT, 1978) produit les deux matrices à partir de la table de contingence provenant du sondage. Ces deux matrices sont normalisées et donnent des valeurs de classement de 0 à 100. La première donne les résultats d'une même classe spectrale dans une colonne. Elle indique donc les taux de pixels bien classés et confondus. Dans la seconde, ce sont les résultats du sondage dans une classe thématique qui sont donnés dans une même colonne. Elle exprime ainsi les taux de sites bien reconnus et oubliés. Cette méthode apporte donc une double approche des relations classe spectrale - classe thématique tout en indiquant les informations nécessaires d'omissions-commissions.

Ces techniques à deux matrices entraînent des interprétations plus élaborées que les deux premières catégories de traitement en apportant des réponses adaptées aux questions posées à l'évaluation.

Après ces différents traitements des résultats du sondage, diverses grandeurs peuvent être calculées pour chiffrer de façon plus complète la précision d'une classification. Outre les estimations déjà citées de la précision d'ensemble, deux paramètres complémentaires sont parfois utilisés (KALENSKY, 1975) :

- la précision cartographique par classe :

$$M_1 (\%) = \frac{N_1}{N_1 + E_1}$$

où : M_1 est la précision cartographique de la classe 1.

N_1 est le nombre de pixels bien classés dans la classe 1.

E_1 est le nombre de pixels mal classés dans la classe 1.
(somme des pixels oubliés et confondus pour la classe 1)

- la précision cartographique d'ensemble :

$$M (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n p_i M_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

où M est la précision cartographique d'ensemble

M_i est la précision cartographique de la classe 1

$$p_i = \frac{T_i}{\sum_{i=1}^n T_i}$$

où T_1 est le nombre de pixels bien classés dans la classe 1

$\sum_{l=1}^n T_l$ est le nombre total de pixels pour toutes les classes.

La disponibilité de ces différentes méthodes conduit à dégager un protocole de traitement des données du sondage adapté aux besoins de l'expérience. Le choix est fait de calculer les deux matrices de confusion normalisées. Sur chacune d'entre elles les valeurs de la diagonale sont assorties d'un intervalle de confiance calculé pour un risque d'erreur donné. Ces mêmes valeurs sont ensuite utilisées pour évaluer la précision d'ensemble de la classification et de la cartographie. L'exploitation de divers paramètres complémentaires ne se justifie pas dans cette expérience. Par contre, les taux de pixels oubliés et confondus sont exprimés. L'évaluation spatialisée est alors complétée par l'interprétation des valeurs exprimées dans les matrices. Cette exploitation des données quantitatives permet d'explicitier les précisions et les confusions obtenues.

VIII-1-c Approche synthétique : évaluation globale

L'approche synthétique d'une évaluation consiste à comparer différents paramètres de l'ensemble de la carte (tels que les superficies de classes) aux informations correspondantes de terrain. Ce type d'approche est dit global.

1. Comparaison de superficies et de populations

L'évaluation globale consiste traditionnellement à comparer les superficies occupées au sol par les classes thématiques aux superficies obtenues par le traitement d'image pour les classes spectrales correspondantes. Ce type d'évaluation suppose que des informations de terrain concernant l'occupation des sols soient disponibles. Lorsque c'est le cas, des regroupements ou des divisions de différents postes de nomenclature thématique sont souvent nécessaires pour obtenir la meilleure correspondance possible avec les taxons spectraux (DENARDOU, 1980). En général, ces ajustements sont intéressants à étudier. En effet, ils permettent de mieux comprendre la nature de la perception verticale du capteur par rapport à la représentation habituelle des objets étudiés. De plus, ils pourraient provoquer une itération à partir de la co-assistance de la même façon que cela a été indiqué pour l'évaluation spatialisée (VIII-1-b-1). Généralement, ces ajustements contribuent à expliquer la nature des objets identifiés.

Un deuxième type d'évaluation actuellement étudié au CESR peut être imaginé. Il consiste à comparer la distribution des pixels de l'ensemble des parcelles d'entraînement d'une classe thématique avec la distribution de tous les pixels de la classe spectrale correspondante (après la classification) pour le même canal. Cette opération peut évidemment concerner tous les canaux utilisés dans le traitement de l'image. Cette comparaison

peut porter sur différents éléments :

- les caractéristiques statistiques habituelles.
- les indicateurs de tendance et de biais obtenus par une procédure non paramétrique comme le test d'homogénéité.
- le calcul de l'entropie des deux distributions.
- l'ajustement de la distribution résultante à la distribution des parcelles d'entraînement.

Ces deux types de comparaison forment la partie principale de l'évaluation globale. Cependant, celle-ci peut être utilement complétée par une évaluation visuelle.

2. Evaluation visuelle

L'évaluation visuelle repose sur la comparaison de l'ensemble de la carte avec des données externes à l'image de télédétection. Elle utilise des connaissances qui peuvent être regroupées en quatre origines essentielles :

- les photographies aériennes,
- les observations de terrain,
- les cartes de terrain,
- les connaissances d'objets précis dans la zone.

Cette partie de l'évaluation globale permet à l'utilisateur d'émettre un jugement complet sur la qualité de la cartographie produite.

3. Synthèse

Les informations obtenues au cours de l'évaluation spatialisée et de l'évaluation globale conduisent à deux niveaux de perception de la qualité cartographique.

Le premier niveau découle directement de l'approche analytique de la précision. Il concerne la qualité de la reconnaissance des classes thématiques mais également la nature des confusions significatives identifiées. Celles-ci sont intéressantes puisqu'elles indiquent les classes thématiques d'apparence voisine dans la perception verticale. Ces similarités sont importantes dans les cas où la télédétection est appelée à remplacer les moyens de perception traditionnels. Il s'avère alors nécessaire de définir la taxinomie optimale réalisant le meilleur niveau d'ajustement des deux types de nomenclature.

Le second niveau de perception de la qualité cartographique consiste à apprécier la distribution des zones de même apparence. Leur physionomie homogène est due à une combinaison constante des différentes classes de pixels. Ces régions correspondent généralement à des entités naturelles dont l'évaluation visuelle a permis d'identifier les principales caractéristiques écogéographiques.

Les données recueillies à l'issue de l'évaluation globale apportent donc des indications complémentaires sur la précision de la classification et sur le zonage apparent qui en résulte.

VIII-2 EVALUATION DE LA CARTOGRAPHIE MONOTEMPORELLE

VIII-2-a Evaluation spatialisée

Les conditions d'obtention des deux matrices normalisées sont les suivantes : le sondage utilisé est aléatoire et stratifié et concerne 529 points (soit environ 2 points/km²). Les résultats sont exprimés en pourcentage du nombre de points sondés dans une colonne. Ils sont accompagnés des intervalles de confiance pour les valeurs des diagonales. Ceux-ci sont calculés pour un niveau de confiance de 90 % (risque d'erreur de 10 %). Le sondage conduit à une précision d'ensemble de 63,9 % alors que les précisions globales sont de 63,3 % pour la matrice des pixels bien classés (tableau 13) et de 62,9 % pour la matrice des sites bien reconnus (tableau 14).

Différents critères d'interprétation peuvent être appliqués aux résultats obtenus. Le premier concerne les valeurs d'ensemble. La précision d'ensemble calculée sur le sondage (63,9 %) peut paraître faible mais reste acceptable si l'on considère le caractère d'imbrication floristique et physiologique des unités écologiques à étudier. Les précisions globales des matrices de confusion sont évidemment voisines de cette première valeur (62,9 % et 63,3 %). La valeur plus faible pour les sites bien reconnus corrobore les observations de résultats naturellement plus restrictifs dans cette matrice.

Le second critère d'interprétation consiste en l'analyse des valeurs portées dans les deux matrices de confusion. Cette analyse, décrite plus loin, est présentée dans l'ordre des classes thématiques de physionomies hautes et ligneuses vers les physionomies basses et herbacées.

Le troisième critère d'interprétation vient compléter le précédent à la suite d'observations expérimentales sur des évaluations spatialisées. Il indique que si les résultats pour un même taxon sont voisins dans les 2 matrices, le thème correspondant est cartographié de façon fiable à la précision près fournie par la diagonale.

Le quatrième critère d'interprétation est la quantité de confusions (oubliés ou confondus) d'une classe donnée qui se trouve répartie dans les taxons "voisins". Cette notion de taxons voisins est du même type que la notion de ressemblance analysée sur des relevés floristiques quantitatifs en écologie. Des classes thématiques sont placées au voisinage immédiat dans les matrices si leur similitude floristique et physiologique est importante d'après les données de terrain disponibles (III-3). Dans le cas des 6 classes retenues dans la cartographie monotemporelle, le voisinage peut être représenté par le schéma suivant :

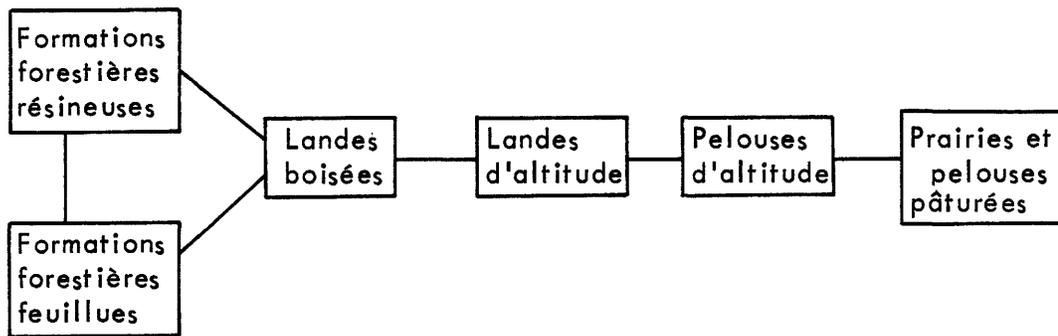
ÉVALUATION DE LA CARTOGRAPHIE MONOTEMPORELLE

Image Terrain	Formations forestières résineuses	Formations forestières feuillues	Landes boisées	Landes d'altitude	Pelouses	Prairies et pelouses pâturées
Formations forestières résineuses	61,6 ±7,6	12,3	9,2			
Formations forestières feuillues	12,5	66,7 ±6,6	11,1	10,4		
Landes boisées	22,3	19,6	59,2 ±11,1	5,3		
Landes d'altitude	3,6	1,4	12,9	63,2 ±9,0	13,5	6,3
Pelouses			7,6	15,8	68,5 ±8,1	32,9
Prairies et pelouses pâturées				5,3	18,0	60,8 ±9,0
Total	100	100	100	100	100	100
Confondus	38,4	33,3	40,8	36,8	31,5	39,2

Tableau 13 : Matrice des pixels bien classés.

Image Terrain	Formations forestières résineuses	Formations forestières feuillues	Landes boisées	Landes d'altitude	Pelouses	Prairies et pelouses pâturées
Formations forestières résineuses	75,9 ±7,4	11,8	28,7	6,0		
Formations forestières feuillues	18,7	77,9 ±6,3	31,0	3,1		
Landes boisées	5,4	5,1	36,8 ±8,5	10,6	4,0	
Landes d'altitude		5,1	3,5	54,6 ±10,0	9,0	4,5
Pelouses				18,1	61,0 ±8,0	23,9
Prairies et pelouses pâturées				7,6	26,0	71,6 ±10,6
Total	100	100	100	100	100	100
Oubliés	24,1	22,1	63,2	45,4	39,0	28,4

Tableau 14 : Matrice des sites bien reconnus.



Cette représentation tient compte de la perception verticale du paysage par le capteur et le voisinage écologique de terrain peut paraître aménagé. Ce quatrième critère d'interprétation est donc indicateur des limites de séparabilité si la plus grande partie des confusions d'une classe est contenue dans les taxons voisins ("confusions normales"). Lorsque des confusions en quantité significative subsistent dans des taxons éloignés, c'est vraisemblablement l'adaptation de l'opération de télédétection à l'objet qui est en cause ("confusions anormales").

L'évaluation des différentes classes cartographiques applique ces critères d'interprétation aux valeurs contenues dans les matrices.

Les formations forestières résineuses ont un taux relativement faible de pixels bien classés alors que 75,9 % de sites de terrain sont bien reconnus. La présence de feuillus en quantité significative dans les reboisements de moyenne altitude semble être à l'origine de cette confusion. Le taux de 18,7 % trouvé dans les forêts feuillues confirme cette hypothèse. En outre, la similarité physiognomique de différentes formations forestières et de certaines landes boisées entraînent des taux de confusions notables (22,3 % de pixels de forêts résineuses classés en landes boisées, tableau 13). Celles-ci sont dues à la continuité des transitions radiométriques décrites en VI-2. Ces indications restrictives doivent être tempérées par les valeurs raisonnables des intervalles de confiance (7,6 % et 7,4 %) qui indiquent une bonne fiabilité des précisions calculées.

Dans les formations forestières feuillues, le phénomène de transition radiométrique progressive pour des taxons voisins provoque des taux de pixels confondus non négligeables (19,6 % en landes boisées). Cependant, la matrice des sites bien reconnus (tableau 14) montre que la cartographie des forêts feuillues est acceptable (précision de 77,9 %). Comme les valeurs de 66,7 % et 77,9 % sont accompagnées d'intervalles de confiance réduits (6,6 % et 6,9 %) ces déterminations sont fiables.

Pour les landes boisées, il y a seulement 36,8 % de sites bien reconnus alors que 59,2 % de pixels sont bien classés mais avec un intervalle de confiance de 11,1 %. Cette valeur résulte d'un nombre d'observations plus faible que pour les autres classes, ce qui indique la difficulté de localiser

les sites pour l'évaluation. Cette limitation est la conséquence de la nature intermédiaire, parcellisée et sans transition nette des landes boisées. La confusion physiologique est donc particulièrement évidente. En effet, sur les 63,2 % de points oubliés, la totalité provient des formations voisines (28,7 + 31,0 + 3,5). La définition thématique des landes boisées identifiables donnée dans le tableau 8 (après examen des réponses spectrales dans la co-assistance) explique ces confusions avec les différents voisins. Il semble ainsi difficile d'améliorer ce classement dans les conditions de cette expérience avec une seule date de prise de vue. En fait, l'ensemble de ces observations pose le problème fondamental de l'utilisation en télédétection d'un concept de terrain décrivant des formations et des communautés végétales.

Les landes d'altitude semblent mieux représentées (63,2 % de bien classés) mais il subsiste 18,1 % de points oubliés appartenant aux pelouses (tableau 14). Cette confusion ainsi que celles existant avec les formations forestières proviendrait de l'imbrication des unités de landes d'altitude avec les pelouses aux altitudes où elles sont en contact dans la partie Ouest du Mont-Lozère. Cette zone étant couverte par la partie la plus importante des landes et pelouses d'altitude, elle influe fortement sur le résultat. De plus, la présence de reboisements dans cette zone renforce vraisemblablement ce phénomène. Ainsi, une grande partie de ces fausses identifications (6,0 + 3,1 + 7,6 soit 16,7 % sur 45,4 %) n'appartient pas aux taxons immédiatement voisins. Comme les tests d'homogénéité montrent des distributions unimodales à dynamique réduite, il est probable que la résolution géométrique contribue nettement aux confusions aux limites de ces unités.

Les pelouses d'altitude sont moyennement bien classées (68,5 % et 61,0 %, tableaux 13 et 14) et les intervalles de confiance sont satisfaisants. La confusion physiologique se retrouve dans la matrice des sites bien reconnus puisque les taxons voisins représentent la plus grande partie des points oubliés (tableau 14 : 26,0 + 9,0 soit 35 % sur 39,0 %). Une observation doit "tempérer" la confusion citée plus haut entre landes et pelouses d'altitude : l'évaluation globale (VIII-2-b) indique clairement la bonne localisation du secteur principal de pelouses sur le Mont-Lozère.

Les prairies et pelouses pâturées sont également classées correctement (60,8 % et 71,6 %) mais les intervalles de confiance sont nettement moins intéressants. Dans les 2 tableaux, les taxons voisins contiennent une grande partie des points oubliés et confondus. Là encore, la confusion physiologique reste présente et la dispersion des parcelles en limite une meilleure évaluation.

Deux faits essentiels ressortent de ces interprétations. Leur signification générale a déjà été présentée dans d'autres expériences mais leur nature est importante dans le contexte de cette étude :

1. les unités écologiques sont correctement reconnues lorsque leurs physiologies sont assez homogènes. Cela a été noté dans la phase

de co-assistance et explique les confusions sur les landes qui sont formées par des associations complexes. (N.B. : si les landes étaient regroupées en 1 classe, le résultat serait correct et éliminerait les intervalles de confiance les plus grands).

2. l'identification spécifique est réduite et uniquement possible par grandes classes lorsqu'il s'agit de formations à ligneux hauts couvrants ou de formations herbacées basses.

VIII-2-b Evaluation globale

L'évaluation globale de la cartographie monotemporelle est fondée sur 3 groupes de renseignements :

- les renseignements provenant de l'évaluation spatialisée,
- la localisation de parcelles et d'objets bien identifiables,
- la répartition et la forme des zones de même apparence.

L'évaluation spatialisée précédente montre l'importance de la structure de la végétation et du paysage dans le résultat de la classification. Ce fait permet d'apprécier la qualité de la cartographie obtenue à partir de l'observation d'un certain nombre de parcelles (ou de zones) bien identifiables :

- la forêt domaniale des Laubies est bien représentée avec la localisation des reboisements anciens sur les 2 versants du vallon central (classés en résineux).
- sur le versant sud du Mont-Lozère, les landes et formations herbacées sont cartographiées avec des incertitudes (notées dans l'évaluation spatialisée) entre la zone de reboisements d'altitude et la limite de l'unité régionale Nord du Parc National.
- les massifs de pins sylvestres de la région de St-Etienne de Valdonnez sont bien localisés et leur densité est bien marquée.
- dans la même unité écologique de pins sylvestres sur schistes, les vallons non forestiers sont correctement notés entre les bois dans la région du col de la Loubière.
- les bois de pins sylvestres sont bien identifiés sur le versant Nord du Mont-Lozère (zone située au sud de Le Bleyard). La hêtraie du bois de Lozeret y est bien discriminée et classée en feuillus.
- les sapinières du Nord-Est de l'unité régionale étudiée sont bien localisées sauf celle du Roc des Echelles qui est sous-estimée au profit des forêts feuillues.
- la grande zone de pelouses et de landes d'altitude couvrant le sommet du Mont-Lozère correspond très précisément aux parcelles de ces unités fournies par la carte des unités écologiques. La qualité

de cette localisation est à mettre en opposition aux précisions moyennes obtenues dans l'évaluation spatialisée. En particulier, la cartographie automatique des pelouses d'altitude étant en accord avec les connaissances de terrain, elle doit donner lieu à une zone de même apparence très significative (voir plus bas).

- les bois du Commandeur et de la Mejarié ont des formes clairement identifiées et la répartition du sapin et du hêtre est bien traduite par la cartographie résineux-feuillus.
- les reboisements et les landes à genêts existant dans la vallée descendant du col des Finiels sont essentiellement classés en résineux. Cette confusion est identifiée dans l'évaluation spatialisée et découle des transitions radiométriques décrites dans la co-assistance (VI-2-b).
- Dans la région du Bougès, plusieurs points sont à remarquer :
 - . la hêtraie-chênaie et la forêt de pins sylvestres sur granites situées au Sud-Est du Pont de Montvert sont bien discriminées et les limites obtenues pour les massifs sont correctes.
 - . les autres formations forestières sont bien représentées dans toute la partie la plus haute du Bougès à la limite Sud de la zone d'étude.
 - . sur le plateau de l'Hermet, la répartition des landes sur les zones à faible pente est bonne.
 - . dans les expositions au Nord entre Saliège et le Pont de Montvert, il apparaît une confusion où des massifs de la hêtraie-chênaie sont cartographiés en résineux.

Ces observations ponctuelles constituent pour l'utilisateur de terrain une part importante de l'évaluation globale. Cependant, un autre point doit être souligné : ces indications conduisent à distinguer des zones de même apparence. Ces zones résultent d'une combinaison constante des éléments classés. Leur intérêt réside dans le fait qu'elles correspondent à des milieux de conditions écologiques homogènes. Elles sont au nombre de 8, identifiées ci-dessous et représentées dans la figure 31 :

1. Zone située au Nord-Ouest de la région d'étude (extrémité Ouest du Mont-Lozère) presque totalement couverte de pins sylvestres sur schistes en exposition Nord-Ouest.
2. Versant Nord du Mont-Lozère (principalement occupé par le pin sylvestre) depuis les Sagnes jusqu'à Le Roc des Leines.
3. Mont-Lozère avec la plus grande partie des pelouses d'altitude de la zone étudiée situées à une altitude généralement supérieure à 1.300 m.
4. Versant Sud du Mont-Lozère où se trouvent mélangés reboisements, landes et formations herbacées.

5. Bassin versant couvert de landes et de formations herbacées situé au Nord-Est du Pont de Montvert.
6. Partie Nord-Est de la région étudiée définie par la limite de l'unité régionale Nord et une ligne qui joint grossièrement le Roc des Leines à l'extrémité Sud-Est de la zone.
7. Zone de landes et formations herbacées entre le bois du Commandeur et Genohlac et qui occupe les versants Sud et Sud-Est de la région étudiée.
8. Zone boisée du Bougès-Nord située entre la limite de la partie Sud de l'unité régionale et le bois des Rouvières.

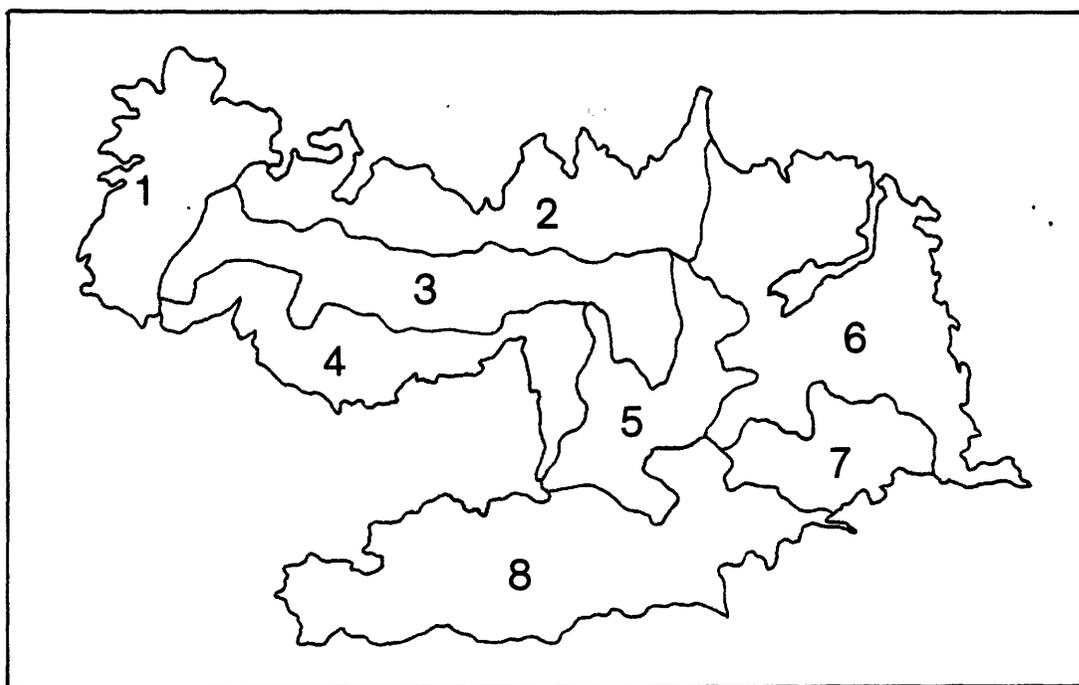


Figure 31 : Limites des zones de même apparence.

La description de ces zones homogènes montre que leur localisation est liée à des facteurs écologiques particuliers : altitude, pente, exposition, nature de la roche sous-jacente, ... Dans certains cas, le facteur humain intervient comme cela a été noté dans l'analyse des unités écologiques et dans l'étude de leur homogénéité spectrale.

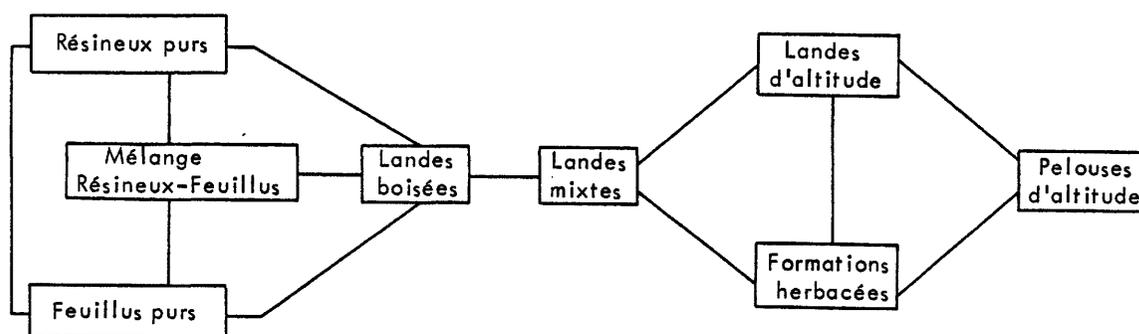
Les milieux homogènes ainsi identifiés semblent donc correspondre à des zones à l'intérieur desquelles les conditions naturelles sont uniformes. De telles zones ayant les mêmes potentialités peuvent donc servir d'approche pour la définition de zones d'aménagement du Parc National des Cévennes. Elles constitueraient alors l'entité de territoire dans laquelle un même type de gestion peut être appliqué.

Ce concept met en valeur la nécessité d'une double évaluation et d'une synthèse sur la qualité de la cartographie automatique du milieu naturel. Ce second niveau de perception est donc d'un grand intérêt pour cette expérience. En effet, si les parcelles des différentes unités écologiques ne sont pas toujours exactement détectables, ces zones de même apparence constituent une synthèse accessible dont la disponibilité peut être très utile à la gestion du territoire du Parc.

VIII-3 EVALUATION DE LA CARTOGRAPHIE BITEMPORELLE

VIII-3-a Evaluation spatialisée

Dans le cas de la cartographie bitemporelle, les matrices de confusion normalisées sont obtenues par un sondage aléatoire stratifié portant sur 441 points. Les résultats sont présentés comme pour la cartographie monotemporelle et les critères d'interprétation utilisés sont les mêmes. La nature des classes cartographiées étant différente, le voisinage est modifié et peut être représenté de la manière suivante :



Le sondage donne une précision d'ensemble de 65,3 % et des précisions globales de 63,3 % pour la matrice des sites bien classés (tableau 15) et de 62,4 % pour la matrice des sites bien reconnus (tableau 16). La précision d'ensemble légèrement supérieure à celle de la cartographie monotemporelle paraît logique. Cependant, cette faible amélioration s'efface dans les précisions globales. Ce phénomène a deux causes principales :

- la cartographie bitemporelle présente 8 classes au lieu de 6 classes dans le traitement monotemporel.
- les 2 scènes utilisées sont enregistrées dans des phases phénologiques peu différentes (voir III.3).

EVALUATION DE LA CARTOGRAPHIE BITEMPORELLE

Terrain \ Image	Résineux purs	Mélange résineux-feuillus	Feuillus purs	Landes boisées	Landes mixtes	Landes d'altitude	Pelouses d'altitude	Formations herbacées
Résineux purs	77,2 ± 7,6	4,3	10,4	7,8	9,4	3,5		
Mélange résineux-feuillus	3,6	60,9 ± 14,4	6,0	13,2				
Feuillus purs	7,2	8,7	70,1 ± 9,2	15,8	7,5			
Landes boisées	3,6	26,1	6,0	47,4 ± 13,3		1,8	1,1	6,9
Landes mixtes	8,4		4,5	2,6	58,6 ± 11,1	5,4	8,7	6,9
Landes d'altitude				5,3	7,5	60,7 ± 10,7	17,4	10,3
Pelouses d'altitude			3,0	2,6	11,3	23,2	66,3 ± 8,1	10,3
Formations herbacées				5,3	5,7	5,4	6,5	65,6 ± 14,5
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Confondus	22,8	39,1	29,9	52,6	41,4	39,3	33,7	34,4

Tableau 15 : Matrice des pixels bien classés.

Terrain \ Image	Résineux purs	Mélange résineux-feuillus	Feuillus purs	Landes boisées	Landes mixtes	Landes d'altitude	Pelouses d'altitude	Formations herbacées
Résineux purs	78,1 ± 7,6	11,6	9,2	8,5	12,7			
Mélange résineux-feuillus	1,6	53,8 ± 16,0	3,1	17,1				
Feuillus purs	8,2	15,4	72,4 ± 9,1	11,4	5,4		2,3	
Landes boisées	3,7	19,2	9,2	51,9 ± 13,9	1,8	3,4	1,1	6,0
Landes mixtes	6,0		5,1		56,6 ± 9,6	6,7	6,9	9,1
Landes d'altitude	2,4			2,8	5,4	57,8 ± 9,2	15,1	9,0
Pelouses d'altitude				2,8	14,5	27,1	71,2 ± 8,0	18,1
Formation herbacées				5,5	3,6	5,0	3,4	57,8 ± 12,3
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Oubliés	21,9	46,2	27,6	48,1	43,4	42,2	28,8	42,2

Tableau 16 : Matrice des sites bien reconnus.

L'interprétation des résultats obtenus dans les 2 matrices d'évaluation suit la même procédure qu'au chapitre précédent.

Les résineux adultes en peuplements purs sont correctement identifiés puisque les valeurs dans les diagonales des 2 matrices sont bonnes et voisines (77,2 % et 78,1 %). En outre, les intervalles de confiance sont satisfaisants (7,6 % dans les 2 cas). Les confusions avec les feuillus et surtout avec les landes boisées deviennent acceptables à ce niveau de précision. Il reste à noter les valeurs confondues et oubliées avec les landes mixtes : celles-ci sont vraisemblablement dues aux radiances faibles des callunaies et des sarothamnaies.

Les résineux et feuillus en peuplements mélangés sont mal identifiés (60,9 % et 53,8 %) et les dimensions des intervalles de confiance (dus à un nombre de points limités) sont liées à la difficulté de repérer cette classe avec précision. La confusion la plus importante se trouve avec les landes boisées, ce qui constitue une limitation dans la signification de cette classe. Par contre, les taux d'oubliés et de confondus plus importants avec les feuillus qu'avec les résineux sont logiques. En effet, lorsqu'il existe des peuplements mélangés, ce sont les feuillus qui dominent généralement. La transition radiométrique est donc plus délicate à isoler avec les peuplements feuillus.

Les feuillus en peuplement purs sont bien identifiés (70,1 % et 72,4 %) avec des intervalles de confiance acceptables. L'espace radiométrique plus ample de cette classe par rapport aux résineux se traduit par des confusions avec toutes les classes voisines et avec les landes mixtes. Les plus notables restent avec les résineux et les landes boisées. Cependant, la proximité des valeurs dans les deux diagonales indique une cartographie fiable comme le confirment les 2 exemples choisis sur le Bougès dans l'évaluation globale.

Les landes boisées ont une identification médiocre (47,4 % et 51,9 %) et leurs intervalles de confiance importants sont dûs à un nombre de points sondés relativement faible. Ce fait est dû à une imbrication importante de cette classe avec 4 taxons voisins et se traduit par des points oubliés et confondus dans toutes les classes. Les confusions importantes avec le mélange résineux-feuillus et avec les feuillus sont compréhensibles. Par contre, on pouvait attendre plus de points mal classés en résineux purs puisque de telles confusions étaient imaginables avec les reboisements. Or, ce phénomène apparaît pour les landes mixtes (voir paragraphe suivant) où il semble finalement s'expliquer.

Pour la classe des landes mixtes, la précision d'identification est moyenne (58,6 % et 56,6 %) mais la similitude de ces deux valeurs et les intervalles de confiance acceptables en définissent clairement la fiabilité. Deux types de confusions significatives sont évidentes dans les deux matrices. Elles concernent les mal classés affectés aux résineux purs (3,4 % et 12,7 %)

et aux pelouses d'altitude (11,3 % et 14,5 %). Les mauvaises identifications en résineux proviennent des radiances très voisines de 2 genres végétaux dominants dans les landes mixtes (*Calluna* et *Sarothamnus*) et de celles des reboisements souvent denses de pins à crochets ou d'épicéas. Les confusions avec les pelouses d'altitude sont difficiles à expliquer dans les proportions trouvées. La colonisation de certaines pelouses par les callunes et le genêt est insuffisante pour provoquer les valeurs obtenues.

L'identification des landes d'altitude est plus satisfaisante que dans la cartographie monotemporelle : les valeurs dans les diagonales sont plus proches et les intervalles de confiance toujours acceptables. Le fait important est la confusion notable avec les pelouses d'altitude (23,2 % et 27,1 %). Les voisinages géographiques et spectraux déjà évoqués en VIII-2 sont également à l'origine de ces mauvaises identifications.

Les pelouses d'altitude sont identifiées correctement (68,3 % et 71,2 %) et les intervalles de confiance y sont satisfaisants. Les confusions notables avec les landes d'altitude relèvent des mêmes causes que celles citées au-dessus. Cette limitation n'entame pas l'amélioration du résultat par rapport à la cartographie monotemporelle.

La classe des formations herbacées avait pour but dans cette cartographie bitemporelle de représenter les zones exploitées pour l'élevage à l'exclusion des pelouses à usage extensif. Ces formations rases semblent moyennement bien identifiées (65,6 % et 57,8 %). Les intervalles de confiance importants (dus aux difficultés de repérage dans un objet très segmenté) font que les confusions avec les pelouses et les landes d'altitude sont significatives sans être très restrictives.

Deux conclusions essentielles peuvent être tirées de cette évaluation spatialisée. Elles concernent la nomenclature de cette cartographie bitemporelle et les valeurs obtenues dans les diagonales des tables d'évaluation.

1. La nomenclature présente 8 classes significatives. Deux objets supplémentaires sont donc discriminés comme l'avait laissé supposer la co-assistance. Cependant, leur qualité d'identification est moyenne mais justifie néanmoins leur distinction. Malgré cela, la précision d'ensemble est améliorée et les précisions globales restent au même niveau.
2. Les valeurs obtenues dans les diagonales des 2 matrices sont plus proches que pour la cartographie monotemporelle. Par contre, les intervalles de confiance sont moins satisfaisants. Deux causes y contribuent simultanément : la zone étant plus réduite, le nombre des points sondés est plus faible ; la complexité de cette zone, cause de son choix, rend difficile les repères pour les sondages. Il est à noter que les valeurs défavorables de confiance sont importantes dans les taxons qui posent un problème de définition thématique aux limites (mélange résineux-feuillus, landes boisées, formations herbacées).

Cette cartographie bitemporelle sur la zone restreinte représente donc une amélioration par rapport à l'observation à une seule date. Dans le cadre des objectifs de cette expérience, ce résultat, même s'il n'est pas original, est important. Il est d'autant plus à remarquer que pour l'année choisie, le contraste phénologique attendu entre les deux saisons est réduit. Les observations synthétisées au chapitre III soulignent ce phénomène de l'année 1978.

VIII-3-b Evaluation globale

Des informations de terrain concernant les superficies sont impossibles à obtenir dans la zone restreinte. En effet, la délimitation de ce site étant due, pour une partie, à l'imagerie Landsat, elle se trouve donc tout à fait arbitraire par rapport aux surfaces étudiées.

Les observations partielles sont toujours possibles sur des parcelles ou des phénomènes particuliers. Celles présentées ci-dessous ne constituent que des exemples représentatifs d'indications globales fournies au Parc National des Cévennes par la cartographie bitemporelle :

- au sommet du Mont-Lozère, les parcelles de l'unité écologique de pelouses d'altitude sont mieux représentées que dans la cartographie monotemporelle (ceci est confirmé dans l'évaluation spatialisée par un taux de 71,2 % de sites bien reconnus au lieu de 61,0 % pour la première carte).
- les landes d'altitude situées sur la zone de crête du Mont-Lozère sont bien placées par rapport à la carte des formations végétales.
- la limite entre les pelouses et les landes d'altitude à l'extrémité Est du Mont-Lozère est évidente et coïncide parfaitement avec la carte des unités écologiques.
- dans le vallon descendant du col des Finiels, il ne reste que peu de landes à genêts classé en résineux.
- dans le Bougès, les inclusions de conifères dans la hêtraie-chênaie (à l'extrémité Ouest de la zone étudiée) sont bien localisées et correspondent aux sites signalés en V-2 (en 8,9 et 10).
- à la limite Nord du Bougès, la hêtraie-chênaie apparaît correctement affectée.

L'ensemble de ces observations concerne des voisinages et des mélanges de formations végétales et d'unités écologiques perçus verticalement. Plus que la qualité de la carte (évaluée plus haut), c'est l'organisation spatiale des taxons représentés qui prend un intérêt évident pour la gestion du territoire. Ainsi, le concept de zones homogènes déjà évoqué prend véritablement une grande importance. Ces zones sont le terme de réflexion pour toute action d'aménagement ou de protection du milieu naturel. Si elles correspondent vraiment à des terroirs homogènes, la cartographie automatique par télédétection apporte alors un nouvel outil pour l'organisation de tels espaces défavorisés.

CONCLUSION

Cette expérience de cartographie automatique de l'Unité Régionale Nord du Parc National des Cévennes permet de tirer deux catégories d'enseignements. Les premiers concernent les informations nouvelles obtenues sur le Mont-Lozère et le Bougès-Nord par la perception verticale du milieu naturel. Les seconds découlent de l'utilisation d'un modèle généralisable de cartographie automatique par télédétection qui permet de tenir compte des spécificités des écosystèmes étudiés.

Les objectifs d'étude d'unités écologiques et les composantes très imbriquées du milieu font que la répétition de l'analyse de l'homogénéité spectrale est la première source d'informations nouvelles. Comme cette technique permet d'acquérir des informations originales sur la structure spatiale de la végétation, elle a été largement plus utilisée que pour une opération habituelle de cartographie automatique par télédétection. En effet, la perception verticale délivrant une vue totalement indépendante de l'observation d'un paysage sur le terrain, la comparaison des deux approches est source d'enseignements. Par exemple, l'étude des parcelles de reboisements d'altitude montre l'existence de trois familles spectrales qui se révèlent correspondre aux trois grandes classes d'âge de plantations. Or, l'analyse habituelle de parcelles d'entraînement ne permettait pas d'isoler ces trois sous-ensembles. Cet apport montre donc qu'il est possible d'obtenir des informations sur la région étudiée avant même que le traitement de l'image soit effectué. De plus, il indique avec la phase de co-assistance, le type de taxinomie identifiable dans les images utilisées.

Les renseignements les plus évidents proviennent de la classification multidimensionnelle des données. Ils sont dérivés de la nomenclature et de la carte qui représente cette nomenclature. Dans le cas de la cartographie monotemporelle, six taxons sont représentés. Leur nature indique clairement l'influence de la physionomie sur leur détermination. Cette remarque est d'autant plus importante que le type d'image utilisé est généralement exploité

pour des discriminations spécifiques. Le fait qu'il permette une classification essentiellement physiologique doit donc être retenu. La carte forme le deuxième aspect de ces renseignements évidents : elle constitue un inventaire géographique de localisation et de voisinage des taxons représentés. Ceux-ci ne correspondent pas exactement aux unités écologiques étudiées mais leur distribution d'ensemble équivaut souvent à un zonage par la somme de plusieurs unités. Des informations supplémentaires existent mais elles sont apportées par les techniques d'évaluation dont les enseignements sont examinés au paragraphe suivant. Dans le cas de la cartographie bitemporelle, la nomenclature obtenue passe à huit postes. La signification est plus proche de celle des unités écologiques que dans la première carte. Deux causes contribuent à cet effet : les deux nouvelles classes ont une nature et une répartition désignant des milieux particuliers et l'ensemble de ces taxons est plus proche d'une description écologique de la zone étudiée.

Le dernier groupe d'informations obtenues sur la région provient de l'évaluation des résultats cartographiques du traitement d'image. Ce fait mérite d'être souligné car la plupart des opérations de cartographie automatique par télédétection d'un thème de l'occupation des terres sont produites et publiées sans évaluation de leur précision et donc de leur fiabilité pour l'utilisateur. En effet, une étude bibliographique de ce domaine dans cinq grandes revues internationales et dans l'ensemble des symposiums de télédétection de l'Université de Michigan montre que 7 % seulement des auteurs fournissent une évaluation de leurs résultats. Pourtant, une évaluation complète (avec ses deux approches complémentaires) fournit presque toujours des informations nouvelles. Les précisions d'ensemble des cartographies sont moyennes : 63,9 % pour l'analyse monotemporelle et 65,3 % pour le traitement bitemporel. Cependant, ces performances sont acceptables pour un milieu où les formations végétales et les unités écologiques sont très diversifiées et très imbriquées. En effet, la plupart de ces "objets" ont des limites peu contrastées et le passage de l'un à l'autre est souvent continu. Une grande partie des pixels contient donc des parcelles de natures différentes et les valeurs numériques correspondantes n'ont donc pas de signification thématique exacte. En outre, le fait de distinguer les confusions qui ont lieu entre des taxons de flores et de physiologies voisines par rapport à l'ensemble des confusions entraîne la mise en évidence des erreurs dues à la télédétection ou dues à la complexité du milieu étudié. De plus, le calcul d'un intervalle de confiance des précisions détermine les confusions significatives et indique les classes dont la perception verticale est voisine. Une telle constatation provoque généralement des interrogations constructives par la confrontation des méthodes de terrain et de détection à distance.

Enfin, l'évaluation des résultats de la classification apporte une information de synthèse originale. En effet, l'évaluation globale conduit à déterminer des zones où le type de répartition et d'organisation des taxons est constant. La fiabilité d'identification étant connue, la validité de

l'homogénéité des régions déterminées en découle immédiatement. Une comparaison avec les connaissances de terrain montre que les limites de ces ensembles sont proches de celles définies par une notion de "zone d'aménagement identique". Elles cernent même de façon plus objective les grandes unités de paysages correspondant à un même type d'activité comme les zones à vocation de pâturage ou de reboisement.

Ces renseignements obtenus au cours de l'expérience entraînent des conclusions méthodologiques de portée générale pour la cartographie automatique des thèmes de l'occupation des terres par télédétection.

En premier lieu, l'utilisation de la télédétection aérospatiale pour les inventaires et les recherches cartographiques de phénomènes biologiques ne peut se satisfaire de la juxtaposition des deux groupes de techniques qui lui sont pourtant nécessaires. En effet, une exploitation non intégrée du traitement des images et de la cartographie thématique ne montre pas l'apport de la stratification écographique, de la préassistance taxinomique et de la coassistance multidimensionnelle. Or, ces phases qui font appel à des outils très différents conditionnent la qualité thématique des résultats. Un modèle performant de cartographie automatique du milieu naturel par télédétection doit donc tenir compte de ces remarques. A ce titre, l'expérience réalisée sur le Parc National des Cévennes constitue un exemple type d'utilisation d'une telle méthode. Ainsi, les six phases présentées au chapitre "objectifs et méthodologie" peuvent constituer un guide pour toute opération du même type.

Cette méthode fait apparaître que le traitement conventionnel de l'image proprement dit représente une partie sur six de l'opération. Dans le cas où la région étudiée correspond à un même type de conditions écologiques et où les taxons sont suffisamment homogènes et disjoints, la même opération peut se réduire à trois parties : échantillonnage, traitement et évaluation. Cependant, l'analyse des données ne représente toujours qu'une partie sur trois dans l'expérience. Ces indications montrent bien le besoin d'intégration interdisciplinaire pour que cette méthode soit efficace dans l'étude de systèmes écologiques naturels ou agricoles.

De telles procédures organisées autour du même modèle central sont donc en mesure de fournir trois groupes d'informations fondamentales sur les milieux étudiés : homogénéité des écosystèmes, répartition géographique des éléments identifiables et définition de zones homogènes. Cette méthode peut être suivie de l'application de diverses fonctions caractérisant la structure spatiale des paysages et proposant des relations fonctionnelles entre eux et avec des paramètres caractéristiques de terrain.

Il reste que diverses procédures sont encore du domaine de la recherche. Par exemple, la délimitation de zones homogènes significatives à partir d'une image ou après un traitement n'a pas à l'heure actuelle de solutions automatiques satisfaisantes. De même, dans la phase de co-assistance, des aides numériques peuvent être employées mais ne sont généralement pas entièrement automatisées.

Ces remarques générales ne doivent pas masquer l'apport de cette démarche de cartographie automatique du milieu naturel par télédétection. En effet, les informations obtenues à travers la perception verticale des paysages indiquent souvent des phénomènes effacés par les synthèses cartographiques traditionnelles. Ainsi, l'expérience sur le Parc National des Cévennes montre que des renseignements importants peuvent être obtenus sur la structure spatiale des communautés végétales dans un milieu à faible pression humaine avec des images obtenues par des satellites. Par ailleurs, la possibilité d'exécuter des analyses multitemporelles ou de répéter la même opération après une période définie permet de mieux cerner l'évolution spécifique et structurale des écosystèmes étudiés.

Dans cette perspective, la méthodologie utilisée ne pourrait être qu'améliorée par l'exploitation d'une imagerie de meilleure résolution géométrique comme celle qui deviendra disponible avec les satellites de la génération SPOT et LANDSAT D. Sa nature la rend exploitable de façon séparée ou intégrable dans le cadre plus large d'étude d'un espace géographique donné. Le constat des conditions naturelles d'environnement de certains milieux et l'aide au développement des zones défavorisées peuvent ainsi bénéficier de son utilisation. Une telle approche semble donc devoir constituer une aide automatique intéressante dans les décisions d'aménagement et de protection du milieu naturel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALDRICH (R.C.), 1967. Stratifying photo plots into volume classes by crown closure comparator : U.S. For Serv. Res. - Note PSW - 151 - 12p.
- BERTRAND (G.), 1972. Les structures naturelles de l'espace géographique. L'exemple des Montagnes Cantabriques Centrales (Nord Ouest de l'Espagne). Rev. Géo. Pyr. Sud-Ouest. Toulouse. 43, 2, pp 175-206.
- COLWELL (R.N.) and other personnel of FRSL, (1969). An evaluation of Earth Ressources Using Apollo 9 Photography. Final Report - NASA Contract. NAS 9-9348. FRSL. Univ. of Calif. Berkeley.
- DEJEAN (R.), 1977. Définition, classification, délimitation et description des unités écologiques de l'unité régionale "Mont-Lozère-Bougeès Nord". Parc National des Cévennes. Doc. n° 11. Florac.
- DENARDOU (J.P.), FLOUZAT (G.), VAUZELLE (M.), 1980. Cartographie et statistique de l'occupation des terres de la Haute-Vienne par télédétection spatiale. Rev. Stat. Agric. Série S : méth. et applic. sci. SCEES n° 2 - Paris.
- FITZPATRICK-LINS (K.), 1981. Comparison of sampling procedures and data analysis for land-use and land cover map. Phot. Eng. 47 n° 2, pp 177-186.
- FLOUZAT (G.), 1973. Remote sensing of forestry using ERTS 1 data - NASA Earth Res. Surv. Prog. NTIS Weekly abstracts - NASA-CR 133009 - August.
- FLOUZAT (G.), 1978. Projet Limousin. Rapport CESR n° 78-828 bis - Toulouse.
- FLOUZAT (G.), 1979 - Extraction de l'information d'une image Landsat contenue dans un contour artificiel. Application à la cartographie thématique d'une région administrative. Coll. Carto- Spat. - Toulouse.
- GINEVAN (M.E.), 1979 - Testing land-use map accuracy, an other look. Phot. Eng. 45 - n° 4, pp 529-533.
- GODRON (M.), 1974. Carte des formations végétales et carte des espèces dominantes ligneuses. CEPE-PNC - Montpellier.
- HAY (A.M.), 1979 - Sampling design to test land use map accuracy. Phot. eng. 45 n° 5, pp 529-533.
- HORD (R.M.), BROONER (W.), 1976 - Land use map accuracy criteria. Phot. Eng. 42 n° 5, pp 671-677.
- KALENSKY (Z.), SCHERK (L.R.), 1975. Accuracy of forest mapping from Landsat CCT. 10th ERIM. Symp. pp. 1159-1167. Ann Arbor - Michigan.

- LACAZE (B.), 1978. Analyse des données numériques dans rapport final de l'expérience ARZOTU. pp 110-164. Montpellier.
- LANGLEY (P.G.), 1969. New multistage sampling techniques using space and aircraft imagery for forest inventory. 6th ERIM Symp. pp 1179-1192. Ann Arbor - Michigan.
- LAUER (D.T.), THAMAN (R.R.), 1971. Information content of simulated space photographs as a function of various levels of image resolution. 7th ERIM Symp. pp 1191-1203. Ann Arbor - Michigan.
- LINS (H.F.), 1976. Land use mapping from Skylab S 190 B. Photography Phot. Eng. 42 - n° 3, pp 301-307.
- LONG (G.), 1969. Conceptions générales sur la cartographie biogéographique intégrée de la végétation et de son écologie. Ann. Géo. 427, pp 257-285. Paris.
- REEVES (C.A.), AUSTIN (T.), KERBER (A.), 1977. Landsat forest and range inventory of south-east Texas countries. IEEE trans. GE, 15, n° 3, pp 159-169.
- ROUSVOAL (D.), 1973. Le climat thermique des Cévennes - CEPE-CNRS - Doc. n° 64- 43 p. Montpellier.
- RUDD (R.D.), 1971. Macro-land-use mapping with simulated space photos. Phot. eng. 37, n° 4, pp 365-372.
- S.C.E.E.S., 1972. Etude sur l'utilisation du territoire. Méthodologie. Résultats 1969, 1970, 1971. Rev. Stat. Agric. Série S : méth. et applic. Sci. n° 104. Paris.
- VAN GANDEREN (J.L.), LOCK (B.F.), 1977. Testing land use map accuracy Phot. Eng. 43 - n° 9, pp 1135-1137.
- VERGER (F.), 1977. Equipe FRALIT : Télédétection du littoral océanique de la France. E.N.S.J.F. Doc. n° 11 - 309 p. Paris.
- YOUNG (H.E.), STOECKELER (E.G.), 1956. Quantitative evaluation of photo-interpretation mapping. Phot. Eng. 22, n° 1, pp 137-143.

ANNEXE I

OBSERVATIONS STATIONNELLES CARACTERISTIQUES

DES

UNITES ECOLOGIQUES

ANNEXE 1

OBSERVATIONS STATIONNELLES CARACTERISTIQUES
DES UNITES ECOLOGIQUES

Chaque observation est composée d'un relevé de reconnaissance et d'une analyse phytosociologique. Ces informations proviennent de la Mission "Cevennes 1970" du Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques (CNRS, Montpellier).

PELOUSE D'ALTITUDE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE N° 059

Nardaie

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant septentrional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac

LATITUDE : 49,374 G

LONGITUDE : 1,581 G

COMMUNE : Mas d'Orcières

DATE : 08.07.1970

AUTEURS :

SURFACE DU RELEVÉ : 100 m²

ALTITUDE : 1540 m

EXPOSITION : Ouest

SITUATION TOPOGRAPHIQUE :

mi-versant

PENTE : 18 %

HUMIDITÉ APPARENTE :

Station : assez sèche

DEGRÉ D'HYDROMORPHIE DU PROFIL

non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL

TYPE PEDOGÉNÉTIQUE :

ranker pseudo-alpin

MATÉRIAU DE CONSTITUTION :

Organo-terreux

Profondeur : 50 cm

ASSISE : rocheuse

TYPE D'humus : moder fibreux

TYPE PHYTOTROPHIQUE : Oligotrophe

FORMATION VÉGÉTALE : herbacée

1ère ESPECE DOMINANTE :

Nardus stricta

2ème ESPECE DOMINANTE :

DEGRÉ D'OUVERTURE DES STRATES PRINCIPALES (en % de la surface du relevé) :

LIGNEUX HAUTS (> 2 m) : 0

LIGNEUX BAS (< 2 m) : 10 - 25

HERBACÉES : 75 - 90

SURFACE COUVERTE PAR :

LA ROCHE DURE ET LES BLOCS : 1 %

LES PIERRAILLES : 0 %

LA TERRE FINE : 0 %

LA VÉGÉTATION (recouv. basal) : 94 %

LA LITIÈRE : 5 %

GÉOLOGIE :

NATURE DE LA ROCHE : Granite

AGE : indéterminé

REACTION A ClH : La roche n'affleure pas

DEGRÉ D'ARTIFICIALISATION :

Artificialisation : assez faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. 10	5,5		m.o. fibreuse	brun très foncé
. 24	5,5		gravier + sablo humif.	rouge brun très foncé
. 40	5,7		gravier + sablo humif.	noir

PELOUSE D'ALTITUDE

RELEVÉ N° 059 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
<i>Calluna vulgaris</i>	II	2
<i>Vaccinium myrtillus</i>	II	2
<i>Nardus stricta</i>	I	75
<i>Carex caryophylla</i>	I	25
<i>Hieracium pilosella</i>	I	12
<i>Thymus serpyllum</i>	I	6
<i>Galium hercynicum</i>	I	6
<i>Festuca ovina</i>	I	4
<i>Deschampsia flexuosa</i>	I	2
<i>Luzula campestris</i>	I	2
<i>Anemone nemorosa</i>	I	1
<i>Lilium martagon</i>	II	
<i>Meum athamanticum</i>		
<i>Polygonum bistorta</i>		
<i>Serratula tinctoria</i>		
<i>Galium verum</i>		
<i>Narcissus poeticus</i>		
<i>Arnica montana</i>	I	
<i>Ranunculus breyninus</i>		
<i>Lathyrus montanus</i>		
<i>Alchimilla alpina</i>		
<i>Antennaria dioica</i>		
<i>Dianthus silvaticus</i>		
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>		
<i>Festuca duriuscula</i>		
<i>Pulsatilla vernalis</i>		
<i>Jasione montana</i>		
<i>Viola silvestris</i>		
<i>Campanula linifolia</i>		
mousses		
dont <i>Polytrichum juniperinum</i>		
<i>Pleurozium schreberi</i>		
EN EXTENSION:		
<i>Pinus silvestris</i>		
<i>Trifolium alpinum</i>		
<i>Pulsatilla vulgaris</i>		

LANDE D'ALTITUDE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE No 094 Callunaie assez ouverte au Pic Cassini

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant méridional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac
 LATITUDE : 49,334 G
 LONGITUDE : 1,6745 G
 COMMUNE : Le Pont de Montvert
 DATE : 15.07.1970
 SURFACE DU RELEVÉ : 100 m²
 ALTITUDE : 1650 m
 EXPOSITION : S
 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
 mi-versant
 PENTE : 30 %

HUMIDITÉ APPARENTE :
 STATION : assez sèche

DEGRÉ D'HYDROMORPHIE DU PROFIL
 non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL
 TYPE PEDOGÉNÉTIQUE :
 ranker pseudo-alpin

MATÉRIAU DE CONSTITUTION :
 organo-terreux
 PROFONDEUR : 70 cm (variable)
 ASSISE : rocheuse
 TYPE D'HUMUS : moder grossier
 TYPE PHYTOTROPHIQUE : oligotrophe

FORMATION VÉGÉTALE : Ligneuse basse

1ère ESPECE DOMINANTE :
Calluna vulgaris

2ème ESPECE DOMINANTE :
Vaccinium myrtillus

DEGRÉ D'OUVERTURE DES STRATES
PRINCIPALES (en % de la surface du
 relevé) :
 LIGNEUX HAUTS (≥ 2 m) : 0
 LIGNEUX BAS (≤ 2 m) : > 90
 HERBACÉES : 0 à 10

SURFACE COUVERTE PAR :
 LA ROCHE DURE ET LES BLOCS : 1 %
 LES PIERRAILLES : 5 %
 LA TERRE FINE : 5 %
 LA VÉGÉTATION (recouv. basal) : 19 %
 LA LITIÈRE : 70 %

GÉOLOGIE :
 NATURE DE LA ROCHE : granite
 AGE : indéterminé
 RÉACTION A ClH : la roche n'affleure
 pas
DEGRÉ D'ARTIFICIALISATION :
 ARTIFICIALISATION : faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. litière (2 cm)				
. 0 - 5 cm	4,5	0	L (et organique)	brun rouge foncé
. 5 - 15 cm	5	0	L-S	brun rouge foncé
. 15 - 70 cm	5	0	S-L	noir
.				

LANDE D'ALTITUDE

RELEVÉ N° 094 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
Calluna vulgaris	II	70
Genista pilosa	II	20
Vaccinium myrtillus	II	10
Festuca ovina	II	
Carex pilulifera		
Serratula tinctoria		
Thymus serpyllum		
Deschampsia flexuosa		
Rumex acetosella		
Agrostis canina		
Antennaria dioica		
Arnica montana		
Hieracium pilosella		
Festuca duriuscula		
Nardus stricta		
Jasione perennis		

LANDE D'ALTITUDE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE No 072 Lande à Callune et Genêt pileux

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant oriental du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac
 LATITUDE : 49,3545 G
 LONGITUDE : 1,6965 G
 COMMUNE : Castanet
 DATE : 11.07.1970
 SURFACE DU RELEVÉ : 25 m²
 ALTITUDE : 1510 m
 EXPOSITION : S
 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
 Haut de versant
 PENTE : 18 %

HUMIDITÉ APPARENTE :
 STATION : sèche

DEGRÉ D'HYDROMORPHIE DU PROFIL
 non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL
 TYPE PEDOGÉNÉTIQUE :
 Ranker d'érosion

MATÉRIAU DE CONSTITUTION :
 Organo-terreux
 PROFONDEUR : 20 cm (très variable)
 ASSISE : rocheuse
 TYPE D'HUMUS : xéro-mor
 TYPE PHYTOTROPHIQUE : oligotrophe

FORMATION VÉGÉTALE : ligneuse basse

1ère ESPECE DOMINANTE :

Calluna vulgaris

2ème ESPECE DOMINANTE :

*Genista pilosa*DEGRÉ D'OUVERTURE DES STRATESPRINCIPALES (en % de la surface du relevé) :

LIGNEUX HAUTS (> 2 m) : 0
 LIGNEUX BAS (≤ 2 m) : 75 à 90
 HERBACÉES : 0 à 10

SURFACE COUVERTE PAR :

LA ROCHE DURE ET LES BLOCS : 45 %
 LES PIERRAILLES : 4 %
 LA TERRE FINE : 1 %
 LA VÉGÉTATION (recouv. basal) : 40 %
 LA LITIÈRE : 10 %

GÉOLOGIE :

NATURE DE LA ROCHE : granite
 AGE : non déterminé
 RÉACTION A ClH :
 effervescence nulle

DEGRÉ D'ARTIFICIALISATION :

ARTIFICIALISATION : faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. 6 cm	4,5	0	S- (gravier)	brun rouge foncé
. 20 cm	5	0	S- (gravier)	brun rouge foncé
.				
.				
.				

LANDE D'ALTITUDE

RELEVÉ N° 072 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
Calluna vulgaris	II	25
Genista pilosa		15
Sorbus aucuparia		
Cytisus purgans		
Vaccinium myrtillus		
Vaccinium uliginosum		
Festuca ovina		
Carex caryophyllea		
Jasione perennis		
Phyteuma hemisphaericum		
Hieracium murorum		
Alchimilla alpina	I	
Antennaria dioica		
EN EXTENSION:		
Pinus silvestris		
Plantago recurvata		

REBOISEMENT D'ALTITUDE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE No 100 Pineraie plantée assez ouverte

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant méridional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac
 LATITUDE : 49,326 G
 LONGITUDE : 1, 70 G
 COMMUNE : Le Pont de Montvert
 DATE : 18.07.1970
 SURFACE DU RELEVÉ : 100 m²
 ALTITUDE : 1535 m
 EXPOSITION : S
 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
 mi-versant
 PENTE : 11 %

FORMATION VEGETALE : Ligneuse haute
 assez claire

1ère ESPECE DOMINANTE :
Pinus montana ssp. uncinata

2ème ESPECE DOMINANTE :

HUMIDITE APPARENTE :
 STATION : moyenne

DEGRE D'OUVERTURE DES STRATES PRINCIPALES (en % de la surface du relevé) :

LIGNEUX HAUTS (> 2 m) :	50 - 75
LIGNEUX BAS (≤ 2 m) :	0
HERBACEES :	0 - 10

DEGRE D'HYDROMORPHIE DU PROFIL
 non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL
TYPE PEDOGENETIQUE :
 ranker pseudo-alpin

SURFACE COUVERTE PAR :

LA ROCHE DURE ET LES BLOCS :	1 %
LES PIERRAILLES :	3 %
LA TERRE FINE :	0 %
LA VEGETATION (recouv. basal)	22 %
LA LITIERE :	74 %

MATERIAU DE CONSTITUTION :
 terreux

PROFONDEUR : plus de 35 cm
 ASSISE : rocheuse

TYPE D'HUMUS : moder fin

TYPE PHYTOTROPHIQUE : oligotrophe

GEOLOGIE :
 NATURE DE LA ROCHE : micaschistes
 AGE : non déterminé
 REACTION A ClH : nulle

DEGRE D'ARTIFICIALISATION :
 ARTIFICIALISATION : faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. litière (2 cm)				
. 0 - 3 cm	4,5		S	brun très foncé
. 3 - 15 cm	6		L(+ pierres)	noir
.	5,5		L(+ graviers + pierres)	noir
. 15 cm et au delà				

REBOISEMENT D'ALTITUDE

RELEVÉ N° 100 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
Pinus montana ssp. uncinata	VII	65
Arnica montana	II	2
Deschampsia flexuosa	II	1
Hieracium murorum	II	1
Fagus silvatica	V	
Picea excelsa		
Festuca ovina	II	
Solidago virga-aurea		
Sorbus aucuparia		
Luzula silvatica		
Hypochoeris maculata		
Galium hercynicum		
Anthoxanthum odoratum		
Nardus stricta		
lichens		
EN EXTENSION:		
Prenanthes purpurea		

FORMATION HERBACEE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE No 093 Pelouse mésotrophe, pâturée en été

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant méridional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac
 LATITUDE : 49,314 G
 LONGITUDE : 1,6615 G
 COMMUNE : Pont de Montvert
 DATE : 15.07.1970
 SURFACE DU RELEVÉ : 25 m²
 ALTITUDE : 1380 m
 EXPOSITION : S.E.
 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
 . Bas versant
 PENTE : 20 %

HUMIDITE APPARENTE :
 STATION : assez sèche

DEGRE D'HYDROMORPHIE DU PROFIL
 non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL
TYPE PEDOGENETIQUE :
 Sol brun acide

MATERIAU DE CONSTITUTION :
 terreux
 PROFONDEUR : plus de 80 cm
 ASSISE : rocheuse
 TYPE D'HUMUS : Moder fibreux
 TYPE PHYTOTROPHIQUE : mesotrophe

FORMATION VEGETALE : Herbacée

1ère ESPECE DOMINANTE :

Festuca spadiccea

2ème ESPECE DOMINANTE :

DEGRE D'OUVERTURE DES STRATES
PRINCIPALES (en % de la surface du
 relevé) :

LIGNEUX HAUTS (≥ 2 m) :	0
LIGNEUX BAS (≤ 2 m) :	0
HERBACEES :	> 90

SURFACE COUVERTE PAR :

LA ROCHE DURE ET LES BLOCS :	0 %
LES PIERRAILLES :	0 %
LA TERRE FINE :	2 %
LA VEGETATION (recouv. basal) :	68 %
LA LITIERE :	30 %

GEOLOGIE :
NATURE DE LA ROCHE : granite porphyroïde
 AGE : indéterminé
 REACTION A ClH : nulle

DEGRE D'ARTIFICIALISATION :
 ARTIFICIALISATION : assez faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. litière (0,5cm)		0	(fibreuse)	
. 0 - 8 cm	5,5	0	L-S(+ graviers)	brun foncé
. 8 - 15 cm	6	0	L-S(+ graviers)	brun foncé
. 15 - 80 cm	6	0	L-S(+ graviers)	brun foncé
. 80 cm		0	(graveleuse)	

FORMATION HERBACEE

RELEVÉ N° 093 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
<i>Festuca spadicca</i>	II	50
<i>Nardus stricta</i>	II	30
<i>Carex pilulifera</i>	II	2
<i>Genistella sagittalis</i>	II	2
<i>Hieracium pilosella</i>	I	10
<i>Thymus serpyllum</i>	I	10
<i>Meum athamanticum</i>	I	5
<i>Deschampsia flexuosa</i>	II	
<i>Jasione perennis</i>		
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>		
<i>Dianthus silvaticus</i>		
<i>Leontodon pyrenaicus</i>		
<i>Genista pilosa</i>		
<i>Phyteuma spicatum</i>		
<i>Festuca ovina</i>		
<i>Luzula campestris</i>		
<i>Viola tricolor</i>		
<i>Centaurea nigra</i>		
<i>Galium verum</i>		
<i>Silene nutans</i>		
<i>Ornithogalum umbellatum</i>		
<i>Gentiana lutea</i>	I	
<i>Potentilla tormentilla</i>		
<i>Danthonia decumbens</i>		
<i>Hieracium peleterianum</i>		

CYTISAIE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE No 088 Cytisaie peu ouverte

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant méridional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac
 LATITUDE : 49,316 G
 LONGITUDE : 1,66 G
 COMMUNE : Le Pont de Montvert
 DATE : 11.07.1970
 SURFACE DU RELEVÉ : 100 m²
 ALTITUDE : 1380 m
 EXPOSITION : S
 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
 sommet arrondi
 PENTE : 2 ‰

HUMIDITE APPARENTE :
 STATION : sèche

DEGRE D'HYDROMORPHIE DU PROFIL
 non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL
TYPE PEDOGENETIQUE :
 Sol lessivé type

MATERIAU DE CONSTITUTION :
 terreux

PROFONDEUR : 45 cm

ASSISE : rocheuse

TYPE D'HUMUS : Mull moder fin

TYPE PHYTOTROPHIQUE : Oligotrophe

FORMATION VEGETALE : Complexe herbacées-
 ligneux bas

1ère ESPECE DOMINANTE :

Cytisus purgans

2ème ESPECE DOMINANTE :

DEGRE D'OUVERTURE DES STRATES
PRINCIPALES (en ‰ de la surface du
 relevé) :

LIGNEUX HAUTS (> 2 m) :	0
LIGNEUX BAS (≤ 2 m) :	75 à 90
HERBACEES :	25 à 50

SURFACE COUVERTE PAR :

LA ROCHE DURE ET LES BLOCS :	8 ‰
LES PIERRAILLES :	0 ‰
LA TERRE FINE :	2 ‰
LA VEGETATION (recouv. basal)	68 ‰
LA LITIERE :	22 ‰

GEOLOGIE :
 NATURE DE LA ROCHE : granite
 AGE : indéterminé
 REACTION A ClH : nulle

DEGRE D'ARTIFICIALISATION :
ARTIFICIALISATION :
 assez faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. 0 à 11 cm	4,5	0	S-L	brun-rouge
. 22 cm	5,5	0	L	brun
. 35 cm	6	0	(graveleux)	brun-foncé
.				
.				

CYTISAIE

RELEVÉ N° 088

ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
<i>Cytisus purgans</i>	III	70
<i>Festuca ovina</i>	II	7
<i>Deschampsia flexuosa</i>	II	3
<i>Agrostis canina</i>	II	2
<i>Nardus stricta</i>	II	1
<i>Thymus serpyllum</i>	I	5
<i>Hieracium pilosella</i>	I	4
<i>Plantago recurvata</i>	I	2
<i>Jasione perennis</i>	II	
<i>Campanula rotundifolia</i>		
<i>Rumex acetosella</i>		
<i>Luzula spicata</i>		
<i>Luzula campestris</i>		
<i>Statice plantaginea</i>		
<i>Carex pilulifera</i>		
<i>Festuca duriuscula</i>		
<i>Alchimilla alpina</i>		
<i>Polygala vulgaris</i>		
<i>Linaria striata</i>		
<i>Spergula pentandra</i>	I	
<i>Galium verum</i>		
<i>Lotus corniculatus</i>		
<i>Scleranthus perennis</i>		
<i>Antennaria dioica</i>		
mousses		

CYTISAIE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE N° 063

Cytisaie peu ouverte

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant septentrional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Le Bleymard

LATITUDE : 49,417 G

LONGITUDE : 1,518 G

COMMUNE : Mas d'Orcières

DATE : 06.07.1970

SURFACE DU RELEVÉ : 100 m²

ALTITUDE : 1160 m

EXPOSITION : Sud Est

Situation topographique :
mi-versant

PENTE : 36 - 48 %

HUMIDITE APPARENTE :

Station : sèche

DEGRE D'HYDROMORPHIE DU PROFIL :

non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL

TYPE PEDOGENETIQUE :

Sol brun acide

MATERIAU DE CONSTITUTION :

Terreux

PROFONDEUR : de 0 à 25 cm

ASSISE : terreuse

TYPE D'HUMUS : Mull moder fin

TYPE PHYTOTROPHIQUE : Oligotrophe

FORMATION VEGETALE : Complexe her-
bacées ligneux bas

1ère ESPECE DOMINANTE :

Cytisus purgans

2ème ESPECE DOMINANTE :

*Festuca duriuscula*DEGRE D'OUVERTURE DES STRATES PRIN-
CIPALES (en % de la surface du rele-
vé) :LIGNEUX HAUTS (> 2 m) : 0 - 10LIGNEUX BAS (≤ 2 m) : 75 - 90

HERBACEES : 25 à 50

SURFACE COUVERTE PAR :

LA ROCHE DURE ET LES BLOCS : 4 %

LES PIERRAILLES : 0 %

LA TERRE FINE : 0 %

LA VEGETATION (recouv. basal) 76 %

LA LITIERE : 20 %

GEOLOGIE :

NATURE DE LA ROCHE : micaschiste

AGE : indéterminé

REACTION A ClH : Effervescence très
faibleDEGRE D'ARTIFICIALISATION :

Artificialisation : moyenne

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. 0 - 1 cm			Fibréuse	
. 1 - 4 cm	5,5	0	S	brun olive
. 4 - 10 cm	5	0	S (+ gravier)	brun gris foncé
.				
. 10 - 20 cm	6	faible réaction	S (+ gravier) passé à caillouteux	brun clair

CYTISAIE

RELEVÉ N° 063 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
<i>Cytisus purgans</i>	IV	3
<i>Sarothamnus scoparius</i>	IV	1
<i>Cytisus purgans</i>	III	70
<i>Festuca duriuscula</i>		
ssp. <i>valesiana</i>	II	40
<i>Deschampsia flexuosa</i>	II	2
<i>Fraxinus excelsior</i>	IV	
<i>Prunus spinosa</i>		
<i>Crataegus monogyna</i>		
<i>Ribes alpinum</i>		
<i>Calluna vulgaris</i>	III	
<i>Teucrium scorodonia</i>		
<i>Conopodium majus</i>		
<i>Sanguisorba minor</i>		
<i>Hieracium pilosella</i>	II	
<i>Jasione montana</i>		
<i>Thymus serpyllum</i>		
<i>Viola tricolor</i>		
<i>Stellaria holostea</i>		
<i>Dactylis glomerata</i>		
<i>Galium mollugo</i>		
<i>Corylus avellana</i>		
<i>Genistella sagittalis</i>		
<i>Hieracium murorum</i>		
<i>Asplenium septentrionale</i>	I	
mousses		
dont <i>Polytrichum piliferum</i>		
<i>Hypnum cupressiforme</i>		
EN EXTENSION:		
<i>Ornithogalum umbellatum</i>		
<i>Agrostis canina</i>		
<i>Hypericum perforatum</i>		
<i>Avena montana</i>		
<i>Prunus avium</i>		
<i>Juniperus communis</i>		

PINERAIE SUR SCHISTES

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE N° 062 Pineraiie semi-ouverte à sous
bois de myrtille
AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant septentrional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Le Bleyard
LATITUDE : 49,403 G
LONGITUDE : 1,511 G
COMMUNE : Mas d'Orcières
DATE : 01.07.70

SURFACE DU RELEVÉ : 100 m²
ALTITUDE : 1200 m
EXPOSITION : Nord
SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
mi-versant

PENTE : 45 %

HUMIDITE APPARENTE :
Station : assez sèche
DEGRE D'HYDROMORPHIE DU PROFIL :
non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL :
TYPE PEDOGENETIQUE :
Sol brun lessivé

MATERIAU DE CONSTITUTION :
Terreux

PROFONDEUR : 70 - 80 cm
ASSISE : rocheuse
TYPE D'HUMUS : moder sableux
TYPE PHYTOTROPHIQUE : Oligotrophe

FORMATION VEGETALE : ligneuse
haute
1ère ESPECE DOMINANTE : assez
claire . *Pinus silvestris*

2ème ESPECE DOMINANTE :

Vaccinium myrtillus

DEGRE D'OUVERTURE DES STRATES
PRINCIPALES (en % de la surface
du relevé) :

LIGNEUX HAUTS (> 2 m) 50 - 75 %
LIGNEUX BAS (≤ 2 m) 75 - 90 %
HERBACEES : 25 - 50 %

SURFACE COUVERTE PAR :

LA ROCHE DURE ET LES BLOCS : 0 %
LES PIERRAILLES : 0 %
LA TERRE FINE : 0 %
LA VEGETATION (recouv. basal) 90 %
LA LITIERE : 10 %

GEOLOGIE :

NATURE DE LA ROCHE : micaschistes
AGE : primaire (?)
la roche n'affleure pas

DEGRE D'ARTIFICIALISATION :

Artificialisation : assez faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. 12 cm	4	-	S	noir
. 50 cm	4,5 - 5	-	L	Ocre
.				
.				

PINERAIE SUR SCHISTES

RELEVÉ N° 062 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
<i>Pinus silvestris</i>	VIII	60
<i>Vaccinium myrtillus</i>	II	45
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	II	20
<i>Abies alba</i>	II	8
<i>Abies alba</i>	VI	2
mousses	I	30
dont <i>Polytrichum commune</i>		
<i>Mnium undulatum</i>		
<i>Brachythecium rutabulum</i>		
<i>Juniperus communis</i>	IV	
<i>Rosa dumalis</i> ssp. <i>afzeliana</i>		
<i>Prenanthes purpurea</i>		
<i>Sarothamnus scoparius</i>		
<i>Fagus silvatica</i>	III	
<i>Epilobium angustifolium</i>		
<i>Maianthemum bifolium</i>	II	
<i>Lathyrus montanus</i>		
<i>Calluna vulgaris</i>		
<i>Luzula flavescens</i>		
<i>Viola silvestris</i>		
<i>Deschampsia flexuosa</i>		
<i>Hieracium murorum</i>		
<i>Veronica chamaedrys</i>		
<i>Athyrium filix-femina</i>		
<i>Carex polyrhiza</i>		
<i>Galium asperum</i>		
<i>Goodyera repens</i>	I	

HETRAIE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE N° 056 Hêtraie dense à litière épaisse

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant septentrional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac

LATITUDE : 49,389 G

LONGITUDE : 1,585 G

COMMUNE : Cubièrettes

DATE : 03-07-1970

SURFACE DU RELEVÉ : 1000 m²

ALTITUDE : 1280 m

EXPOSITION : N.E.

SITUATION TOPOGRAPHIQUE :

mi-versant

PENTE : 38 %

HUMIDITE APPARENTE :

STATION : moyenne

DEGRE D'HYDROMORPHIE DU PROFIL :

non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL :

TYPE PEDOGENETIQUE :

sol brun forestier

MATERIAU DE CONSTITUTION :

terreux

PROFONDEUR : plus de 60 cm

ASSISE : terreuse

TYPE D'HUMUS : Mull moder fibreux

TYPE PHYTOTROPHIQUE : mesotrophe

FORMATION VEGETALE : L.H. dense

1ère ESPECE DOMINANTE :

Fagus sylvatica

2ème ESPECE DOMINANTE :

DEGRE D'OUVERTURE DES STRATES PRINCIPALES (en % de la surface du relevé) :

LIGNEUX HAUTS (> 2 m) : plus de 90

LIGNEUX BAS (≤ 2 m) : 0

HERBACEES : 0 à 10

SURFACE COUVERTE PAR :

LA ROCHE DURE ET LES BLOCS : 0 %

LES PIERRAILLES : 0 %

LA TERRE FINE : 0 %

LA VEGETATION (recouv. basal) : 10 %

LA LITIERE : 90 %

GEOLOGIE :

NATURE DE LA ROCHE : schistes

AGE : indéterminé

REACTION A ClH : nulle

DEGRE D'ARTIFICIALISATION :

ARTIFICIALISATION : assez faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. 0 à 7 cm	5	0	l a humique	ocre foncé
. 7 à 50 cm	6	0	a l	ocre brun
.				
.				
.				

HETRAIE

RELEVÉ N° 056 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
Fagus silvatica	VI-VIII	95
Lonicera nigra	IV	
Sorbus aucuparia		
Prenanthes purpurea		
Luzula nivea	III	
Vaccinium myrtillus		
Polygonatum verticillatum	II	
Neottia nidus-avis		
Hieracium murorum		
Pirola secunda		
Stellaria holostea		
Anemone nemorosa		
Paris quadrifolia		
Polypodium vulgare		
Maianthemum bifolium		
Deschampsia flexuosa		
Lathyrus montanus		
Viola silvestris		
Veronica chamaedrys		
Oxalis acetosella	I	

HETRAIE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE No 087

Hêtraie

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant méridional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac
 LATITUDE : 49,2895 G
 LONGITUDE : 1,635 G
 COMMUNE : St Maurice de Ventalon
 DATE : 18.07.1970
 SURFACE DU RELEVÉ : 100 m²
 ALTITUDE : 1240 m
 EXPOSITION : S.W
 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
 mi-versant
 PENTE : 20 %

HUMIDITÉ APPARENTE :
 STATION : moyenne

DEGRÉ D'HYDROMORPHIE DU PROFIL
 non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL
 TYPE PEDOGÉNÉTIQUE :
 Sol lessivé type

MATÉRIAU DE CONSTITUTION :
 terreux
 PROFONDEUR : 50 cm
 ASSISE : rocheuse
 TYPE D'HUMUS : Moder sableux
 TYPE PHYTOTROPHIQUE : mésotrophe

FORMATION VÉGÉTALE : ligneuse haute dense

1ère ESPECE DOMINANTE :
Fagus sylvatica

2ème ESPECE DOMINANTE :

DEGRÉ D'OUVERTURE DES STRATES
PRINCIPALES (en % de la surface du
 relevé) :
 LIGNEUX HAUTS (≥ 2 m) : > 90
 LIGNEUX BAS (≤ 2 m) : 0 à 10
 HERBACÉES : 0 à 10

SURFACE COUVERTE PAR :
 LA ROCHE DURE ET LES BLOCS : 28 %
 LES PIERRAILLES : 0 %
 LA TERRE FINE : 0 %
 LA VÉGÉTATION (recouv. basal) : 6 %
 LA LITIÈRE : 66 %

GÉOLOGIE :
 NATURE DE LA ROCHE : granite
 AGE : indéterminé
 RÉACTION A ClH : nulle

DEGRÉ D'ARTIFICIALISATION :
 ARTIFICIALISATION : faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. 0 - 2 cm	5	0	S	non déterminée
. 2 - 12 cm	5	0	S	non déterminée
. 12 - 28 cm	5	0	S-L	non déterminée
. 28 - 50 cm	5,5	0	S(+ graviers)	non déterminée

HETRAIE

RELEVÉ N° 087 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
Fagus silvatica	VIII	95
Fagus silvatica	V	7
Fagus silvatica	II	4
Hieracium murorum		
Festuca ovina		
Deschampsia flexuosa		
Anthoxanthum odoratum		
Teucrium scorodonia		
Senecio adonidifolius		
Luzula nivea		
Linaria striata		
Agrostis vulgaris		
Vaccinium myrtillus		
Veronica officinalis	I	
mousses		
EN EXTENSION:		
Malva moschata		

HETRAIE - SAPINIERE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE No 078 Hêtraie-sapinière

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant oriental du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac
 LATITUDE : 49,3575 G
 LONGITUDE : 1,701 G
 COMMUNE : Altier
 DATE : 17.07.1970
 SURFACE DU RELEVÉ : 200 m²
 ALTITUDE : 1380 m
 EXPOSITION : N-W
 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
 mi-versant
 PENTE : 20 ‰

HUMIDITE APPARENTE :
 STATION : moyenne

DEGRE D'HYDROMORPHIE DU PROFIL
 non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL
 TYPE PEDOGENETIQUE :
 sol brun acide

MATERIAU DE CONSTITUTION :
 gravelo-terreux
 PROFONDEUR : 20 cm (variable)
 ASSISE : roche use
 TYPE D'HUMUS : moder sableux
 TYPE PHYTOTROPHIQUE : oligotrophe

FORMATION VEGETALE : Ligneuse haute
 dense

1ère ESPECE DOMINANTE :

Abies alba

2ème ESPECE DOMINANTE :

Fagus sylvatica

DEGRE D'OUVERTURE DES STRATES
PRINCIPALES (en ‰ de la surface du
 relevé) :

LIGNEUX HAUTS { \geq 2 m } : 90
 LIGNEUX BAS { \leq 2 m } : 0 à 10
 HERBACEES : 0 à 10

SURFACE COUVERTE PAR :
 LA ROCHE DURE ET LES BLOCS : 10 ‰
 LES PIERRAILLES : 3 ‰
 LA TERRE FINE : 0 ‰
 LA VEGETATION (recouv. basal) : 7 ‰
 LA LITIÈRE : 80 ‰

GEOLOGIE :
 NATURE DE LA ROCHE : granite
 AGE : non déterminé
 REACTION A ClH : nulle

DEGRE D'ARTIFICIALISATION :
 ARTIFICIALISATION : faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. litière (2 cm)	6,2	0		
. 5 cm	5,2	0	L-S	brun rouge foncé
. 27 cm	5	0	(graveleuse)-L-S	brun foncé
.				
.				

HETRAIE - SAPINIÈRE

RELEVÉ N° 078 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
Abies alba	VIII	45
Fagus silvatica	VIII	45
Betula verrucosa	VIII	5
Abies alba	VI	42
Fagus silvatica	VI	17
Abies alba	II	5
Actaea spicata	III	
Fagus silvatica	II	
Solidago virga-aurea		
Athyrium filix-femina		
Valeriana tripteris		
Luzula nivea		
Viola silvestris		
Vaccinium myrtillus		
Deschampsia flexuosa		
Hieracium murorum		
Anemone nemorosa		
Oxalis acetosella		

SAPINIÈRE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE N° 061 Sapinière

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Le Bloyard
 LATITUDE : 49,403 G
 LONGITUDE : 1,511 G
 COMMUNE : Mas d'Orcières
 DATE : 01.07.1970

SURFACE DU RELEVÉ : 400 m²
 ALTITUDE : 1220 m
 EXPOSITION : Nord Ouest
 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
 mi-versant

PENTE : 55 %

HUMIDITÉ APPARENTE :
 Station : moyenne

DEGRÉ D'HYDROMORPHIE DU PROFIL :
 non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL :
 TYPE PEDOGÉNÉTIQUE :
 ranker d'érosion

MATÉRIAU DE CONSTITUTION
 Gravelo-pierreux

PROFONDEUR : 40 cm
 ASSISE : rocheuse (éboulis)
 TYPE D'HUMUS : moder fibreux
 TYPE PHYTOTROPHIQUE : non déterminé

FORMATION VÉGÉTALE : ligneuse haute dense

1ère ESPECE DOMINANTE :

Abies alba

2ème ESPECE DOMINANTE :

mousses

DEGRÉ D'OUVERTURE DES STRATES PRINCIPALES (en % de la surface du relevé) :

LIGNEUX HAUTS (> 2 m) : 75 - 90 %

LIGNEUX BAS (< 2 m) : 0 - 10 %

HERBACÉES : 50 - 75 %

SURFACE COUVERTE PAR :

LA ROCHE LÈVE ET LES BLOCS : 0 %

LES PIERRAILLES : 10 %

LA TERRE FINE : 0 %

LA VÉGÉTATION (recouv. basal) : 70 %

LA LITIÈRE : 20 %

GÉOLOGIE :

NATURE DE LA ROCHE : Granite

ÂGE : indéterminé

REACTION A ClH : La roche n'affleure pas

DEGRÉ D'ARTIFICIALISATION :

Artificialisation : faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. 0 - 10 cm	4 4,5	-	pelon	noir
. 40 cm	4,5 5	-	S	ocre clair
.				
.				

SAPINIÈRE

RELEVÉ N° 061 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
<i>Abies alba</i>	IX	80
<i>Deschampsia flexuosa</i>	II	20
mousses	I	50
dont <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>		
<i>Hylocomium splendens</i>		
<i>Hypnum cupressiforme</i>		
<i>Brachytecium rutabulum</i>		
<i>Pogonatum aloides</i>		
<i>Betula verrucosa</i>	IX	
<i>Fagus silvatica</i>	VI-VII	
<i>Abies alba</i>	V	
<i>Sambucus racemosa</i>	IV	
<i>Epilobium angustifolium</i>		
<i>Prenanthes purpurea</i>		
<i>Digitalis purpurea</i>	III	
<i>Solidago virga-aurea</i>		
<i>Rubus idaeus</i>		
<i>Polypodium vulgare</i>	II	
<i>Luzula nivea</i>		
<i>Vaccinium myrtillus</i>		
<i>Hieracium murorum</i>		
<i>Sorbus aucuparia</i>		
<i>Abies alba</i>		
<i>Fagus silvatica</i>		
<i>Lonicera nigra</i>		
<i>Corylus avellana</i>		
<i>Epilobium montanum</i>		
<i>Oxalis acetosella</i>	I	
<i>Stellaria media</i>		
<i>Viola silvestris</i>		

CHENAIE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE No 097

Lisière de Chênaie

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant méridional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac
 LATITUDE : 49,2905 G
 LONGITUDE : 1,582 G
 COMMUNE : Le Pont de Montvert
 DATE : 15.07.1970
 SURFACE DU RELEVÉ : 100 m²
 ALTITUDE : 955 m
 EXPOSITION : S
 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
 talus

PENTE : 50 ‰

HUMIDITÉ APPARENTE :
 STATION : assez humide

DEGRÉ D'HYDROMORPHIE DU PROFIL
 non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL
 TYPE PEDOGÉNÉTIQUE :
 sol brun lessivé

MATÉRIAU DE CONSTITUTION :
 terreux
 PROFONDEUR : 50 cm (variable)
 ASSISE : rocheuse
 TYPE D'HUMUS : Mull-moder grossier
 TYPE PHYTOTROPHIQUE : mésotrophe

FORMATION VÉGÉTALE : Ligneuse haute
 dense

1^{ère} ESPECE DOMINANTE :
Quercus sessiliflora

2^{ème} ESPECE DOMINANTE :

DEGRÉ D'OUVERTURE DES STRATES
PRINCIPALES (en % de la surface du
 relevé) :
 LIGNEUX HAUTS (> 2 m) : 75 à 90
 LIGNEUX BAS (≤ 2 m) : 0 à 10
 HERBACÉES : 75 à 90

SURFACE COUVERTE PAR :
 LA ROCHE DURE ET LES BLOCS : 2 %
 LES PIERRAILLES : 0 %
 LA TERRE FINE : 0 %
 LA VÉGÉTATION (recouv. basal) : 40 %
 LA LITIÈRE : 58 %

GÉOLOGIE :
 NATURE DE LA ROCHE : granite
 ÂGE : indéterminé
 RÉACTION A ClH : nulle

DEGRÉ D'ARTIFICIALISATION :
 ARTIFICIALISATION : moyenne

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. litière (2 cm)				
. 10 cm	6	0	(graveleuse)	gris brun
. 22 cm	5,5	0	S	brun rouge foncé
. 50 cm	5	0	L - S	brun foncé
.				

CHENAIE

RELEVÉ N° 097 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
<i>Quercus sessiliflora</i>	VIII	76
<i>Quercus sessiliflora</i>	VI	20
<i>Sorbus aria</i>	VI	2
<i>Fraxinus excelsior</i>	VI	1
<i>Fraxinus excelsior</i>	IV	1
<i>Populus tremula</i>	VI	1
<i>Betula verrucosa</i>	VI	1
<i>Pteridium aquilinum</i>	IV	6
<i>Sarothamnus scoparius</i>	IV	2
<i>Brachypodium pinnatum</i>	III	24
<i>Holcus mollis</i>	III	1
<i>Calamintha clinopodium</i>	II	1
<i>Veronica chamaedrys</i>	II	1
<i>Athyrium filix-femina</i>	IV	
<i>Laserpitium latifolium</i>		
<i>Knautia silvatica</i>		
<i>Solidago virga-aurea</i>		
<i>Rumex acetosa</i>		
<i>Teucrium scorodonia</i>	III	
<i>Deschampsia flexuosa</i>		
<i>Linaria striata</i>		
<i>Dactylis glomerata</i>		
<i>Epilobium collinum</i>		
<i>Conopodium majus</i>		
<i>Sedum maximum</i>		
<i>Arrhenaterum elatius</i>		
<i>Achillea millefolium</i>		
<i>Silene nutans</i>		
<i>Urtica dioica</i>		
<i>Stellaria holostea</i>		
<i>Hieracium murorum</i>		
<i>Fragaria vesca</i>	II	
<i>Lathyrus montanus</i>		
<i>Polypodium vulgare</i>		
<i>Asplenium trichomanes</i>		
EN EXTENSION:		
<i>Castanea sativa</i>		
<i>Festuca duriuscula</i> ssp. <i>valesiana</i>		
<i>Galium mollugo</i>		

LANDE MIXTE

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE No 091

Cytisaie sèche

AUTEUR : Mission Cévennes 1970

SECTEUR : Versant méridional du Mont Lozère

CARTE I.G.N. : Genolhac
 LATITUDE : 49,269 G
 LONGITUDE : 1,691 G
 COMMUNE : Vialas
 DATE : 14.07.1970
 SURFACE DU RELEVÉ : 100 m²
 ALTITUDE : 1090 m
 EXPOSITION : S
 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :
 Haut de versant
 PENTE : 32 %

FORMATION VEGETALE : Complexe Herbacées
 Ligneux bas

1ère ESPECE DOMINANTE :

Cytisus purgans

2ème ESPECE DOMINANTE :

Erica cinerea

DEGRE D'OUVERTURE DES STRATES
PRINCIPALES (en % de la surface du
 relevé) :

LIGNEUX HAUTS (> 2 m) : 0 à 10
 LIGNEUX BAS (≤ 2 m) : 50 à 75
 HERBACEES : 10 à 25

HUMIDITE APPARENTE :
 STATION : sèche

DEGRE D'HYDROMORPHIE DU PROFIL
 non hydromorphe

DESCRIPTION SOMMAIRE DU SOL
TYPE PEDOGENETIQUE :
 sol lessivé type

SURFACE COUVERTE PAR :

LA ROCHE DURE ET LES BLOCS :	30 %
LES PIERRAILLES :	10 %
LA TERRE FINE :	5 %
LA VEGETATION (recouv. basal) :	45 %
LA LITIERE :	10 %

MATERIAU DE CONSTITUTION :

PROFONDEUR : 20 cm (variable)
 ASSISE : rocheuse
 TYPE D'HUMUS : moder fin
 TYPE PHYTOTROPHIQUE : oligotrophe

GEOLOGIE :
NATURE DE LA ROCHE : schistes
 AGE : non déterminé
 REACTION A ClH : nulle

DEGRE D'ARTIFICIALISATION :
 ARTIFICIALISATION :
 assez faible

Profondeur	pH	ClH	Texture	Couleur
. 0 - 2 cm	4,5	0	(fibreuse)	
. 2 - 17 cm	5	0	L-S	brun rouge foncé
. 17 - 22 cm	6	0	L	brun gris
.				
.				

LANDE MIXTE

RELEVÉ N° 091 ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

NOM DE L'ESPECE	STRATE	REC. %
<i>Cytisus purgans</i>	III	28
<i>Calluna vulgaris</i>	III	22
<i>Sorbus aria</i>	III	1
<i>Erica cinerea</i>	II	22
<i>Festuca duriuscula</i> ssp. <i>valesiana</i>	II	8
<i>Agrostis canina</i>	II	3
<i>Festuca ovina</i>	II	2
<i>Plantago recurvata</i>	I	1
<i>Brachypodium pinnatum</i>	II	
<i>Ornithogalum umbellatum</i>		
<i>Anthericum liliago</i>		
<i>Teucrium scorodonia</i>		
<i>Amelanchier rotundifolia</i>		
<i>Conopodium majus</i>		
<i>Jasione montana</i>		
<i>Sedum dasyphyllum</i>	I	
mousses		
EN EXTENSION:		
<i>Quercus sessiliflora</i>		
<i>Rumex acetosella</i>		
<i>Festuca spadicea</i>		
<i>Thymus serpyllum</i>		

ANNEXE II

RESULTATS NUMERIQUES

DES

TESTS D'HOMOGENEITE SPECTRALE

DES

UNITES ECOLOGIQUES

ANNEXE 2

RESULTATS NUMERIQUES DES TESTS D'HOMOGENEITE
SPECTRALE DES UNITES ECOLOGIQUES

Les valeurs sont calculées selon le schéma de la figure 11 et sont présentées dans l'ordre du tableau 5. Les données proviennent des parcelles indiquées dans le tableau 4.

PELOUSE D'ALTITUDE

Canal Unité	Juin - Canal 5				Juin - Canal 7				Octobre - Canal 5				Octobre - Canal 7			
	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max
0101	60,2	16,5	21	95	93,1	14,2	45	125	35,6	21,4	5	93	59,1	10,0	33	89
	56	28	28	84	90	26	64	116	40	32	8	72	56	16	40	72
	64	16	48	80	98	10	88	108	30,5	21,5	9	52	64	8	56	72
0102	63,8	10,8	38	102	106,8	11	73	153	37,6	16,7	7	81	61,5	9,9	29	97
	64	19	45	83	104	20	84	124	43	29	14	72	56	20	36	76
	65	10	55	75	108	8	100	116	31,5	12,5	19	44	62	6	56	68
0103	73,8	21,7	31	256	103,9	12,4	65	173	34,2	9,2	5	60	66,3	9,7	41	113
	71,5	31,5	40	103	100	24	76	124	34,5	16,5	18	51	68	20	48	88
	70	15	55	85	104	8	96	112	36	8	28	44	66	6	60	72
0104	82,7	26,9	36	256	103,7	13,3	73	193	44,5	10,5	10	75	71,6	9,9	37	109
	86	41	45	127	106	22	84	128	46	18	28	64	72	16	56	88
	77	9	68	86	100	8	92	108	44	9	35	53	72	8	64	80

LANDE D'ALTITUDE

0201	57,1	11	38	83	98,5	13,4	73	137	33,8	8,46	23	56	65,9	11,3	49	97
	56	19	37	75	104	24	80	128	35,5	13,5	22	49	68	16	52	84
	61,5	10,5	51	72	96	8	88	104	32,5	6,5	26	39	64	8	56	72
0202	61,5	14,3	32	189	98,19	10,9	73	137	28,1	7,7	5	49	65,3	8,9	9	97
	60	23	37	83	100	20	80	120	27,5	14,5	13	42	68	16	52	84
	63,5	11,5	52	75	96	8	88	104	28	7	21	35	66	6	60	72
0203	58,1	22,3	25	256	84,4	16	57	181	27,6	8,41	9	58	67,8	12,9	41	125
	59,5	29,5	30	89	88	28	60	116	28,5	15,5	13	44	76	24	52	100
	53,5	12,5	41	66	76	12	64	88	28	8	20	36	64	8	56	72

REBOISEMENT D'ALTITUDE

Canal Unité	Juin - Canal 5				Juin - Canal 7				Octobre - Canal 5				Octobre - Canal 7			
	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max
0301	38,1	14,2	20	79	77,7	15,3	49	121	15,3	7,5	5	40	51,3	10,1	29	81
	46	24	22	70	82	26	56	108	17,5	13,5	4	31	54	18	36	72
	29,5	7,5	22	37	68	12	56	80	12	4	8	16	48	8	40	56
0302	69,9	22,9	29	256	103,5	13,4	65	185	32,2	7,7	7	58	68,5	9,3	45	97
	61	31	30	92	104	24	80	128	29,5	15,5	14	45	68	16	52	84
	67,5	12,5	55	80	100	8	92	108	33,5	5,5	28	39	72	8	64	80
0303	56,9	7,7	38	76	100,2	9,6	81	129	22,3	5	11	42	64,2	7,5	49	85
	60	15	45	75	102	18	84	120	20,5	10,5	10	31	64	12	52	76
	57,5	6,5	51	64	98	6	92	104	22	4	18	26	66	6	60	72
0304	63,5	15,2	33	105	100,2	15,3	65	121	30	8,3	8	45	60,4	9	37	77
	62	27	35	89	94	26	68	120	29,5	14,5	15	44	58	14	44	72
	67,5	12,5	55	80	109	9	100	118	34,5	6,5	28	41	66	6	60	72
0305	82,1	38,1	31	256	103,9	16,8	65	217	37,7	8,4	11	63	71,4	9,2	37	105
	99,5	69,5	30	169	104	28	76	132	34	17	17	51	72	16	56	88
	75	15	60	90	100	8	92	108	40,5	5,5	35	46	70	6	64	76
0307	50,9	14,7	29	136	84,4	10,7	57	117	24,7	8,8	7	51	61,8	10	41	85
	51,5	23,5	28	75	84	20	64	104	26	16	10	42	62	18	44	80
	46,5	9,5	37	56	84	8	76	92	27	8	19	35	64	8	56	72
0309	46,9	16,0	25	200	70,8	12,9	49	137	19,4	8,2	7	52	54,4	11,7	29	97
	52,5	24,5	28	77	72	20	52	92	21	14	7	35	58	22	36	80
	44,5	7,5	37	52	70	10	60	80	19	7	12	26	52	8	44	60

FORMATIONS HERBACEES DE MOYENNE ALTITUDE

Canal Unité	Juin - Canal 5				Juin - Canal 7				Octobre - Canal 5				Octobre - Canal 7			
	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max
0401	56,9	16,5	25	90	108	24,8	61	197	33,6	8,3	7	56	69,8	12	29	109
	56	26	30	82	120	48	72	168	32,5	15,5	17	48	72	24	48	96
	49	19	30	68	102	14	88	116	34	6	28	40	68	8	60	76
0402	51	13,4	29	78	85,2	13,3	61	121	26,5	7,6	11	45	60	9,7	41	93
	50	22	28	72	86	22	64	108	26	13	13	39	60	16	44	76
	47	13	34	60	80	12	68	92	28,5	6,5	22	35	62	6	56	68
0405	53,8	8,4	32	78	102,6	13,5	73	157	35,7	8,1	11	63	72,2	9,3	49	97
	55	15	40	70	104	24	80	128	36,5	14,5	22	51	70	18	52	88
	51	7	44	58	98	10	88	108	34,5	6,5	28	41	70	6	64	76
0407	40,9	5,6	29	56	99,1	19,7	69	137	27,4	10,2	11	48	55,6	19,4	13	89
	37,5	9,5	28	47	96	28	68	124	28	16	12	44	54	30	24	84
	39,5	4,5	35	44	100	20	80	120	26,5	10,5	16	37	60	16	44	76
0408	46,7	8	29	68	106,7	22,5	61	185	32,7	10,6	9	56	66,2	15,2	29	105
	47,5	13,5	34	61	116	44	72	160	32	19	13	51	62	26	36	88
	44,5	7,5	37	52	99	19	80	118	36	8	28	44	68	12	56	80
0409	45,5	8,8	29	84	115,6	22,1	77	169	39,8	12,1	9	65	72,2	18,3	25	101
	44	16	28	60	124	40	84	164	35	22	13	57	66	34	32	100
	44,5	7,5	37	52	116	20	96	136	42,5	7,5	35	50	78	10	68	88
0411	52	7,5	36	83	116	16,3	77	169	42,5	8,1	16	63	73,6	9,2	49	93
	53,5	14,5	39	68	120	32	88	152	42,5	14,5	28	57	72	16	56	88
	52	6	46	58	114	14	100	128	45	8	37	53	72	8	64	80
0412	59,9	9,8	35	83	95,9	11	77	133	35,4	11	9	53	76	11,2	53	101
	60,5	16,5	44	77	100	20	80	120	34	17	17	51	76	20	56	96
	60,5	9,5	51	70	95	7	88	102	43	8	35	51	78	10	68	88
0413	46,5	8,8	31	73	110	19,4	65	181	48,4	12,7	19	83	72,1	12,9	41	117
	51	16	35	67	118	38	80	156	46,5	23,5	23	70	72	24	48	96
	42,5	7,5	35	50	106	14	92	120	53,5	12,5	41	66	74	12	62	86
0414	52,7	10,5	31	78	94,2	16,4	49	141	41,3	13,1	12	77	72,6	18,5	25	117
	54	18	36	72	94	30	64	124	43	24	19	67	70	34	36	104
	49	9	40	58	94	14	80	108	39,5	11,5	28	51	76	16	60	92

LANDE A GENET PURGATIF

Canal Unité	Juin - Canal 5				Juin - Canal 7				Octobre - Canal 5				Octobre - Canal 7			
	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max
0501	52,3	8,9	35	90	98,8	18,9	57	145	30,7	11,3	11	65	59,2	11,3	37	89
	53,5	14,5	39	68	100	32	68	132	31	18	13	49	56	20	36	76
	51	7	44	58	96	16	80	112	26,5	10,5	16	37	58	10	48	68
0502	53,8	10,8	36	85	93,6	10,3	73	133	28	8	14	52	59,2	6,4	45	73
	56	19	37	75	90	18	72	108	28	13	15	41	60	12	48	72
	50	8	42	58	94	6	88	100	29,5	7,5	22	37	58	6	52	64
0503	38,8	6,7	26	58	96,6	17,7	61	165	27	8	14	51	63,2	12,5	45	101
	39,5	11,5	28	51	104	32	72	136	27	14	13	41	66	22	44	88
	36,5	5,5	31	42	88	12	76	100	25	6	19	31	62	10	52	72
0504	43,8	8,3	25	71	98,7	12,9	69	141	32,8	16,2	9	77	60,1	10,6	33	81
	42,5	14,5	28	57	98	26	72	124	37	27	10	64	58	18	40	76
	42	7	35	49	96	8	88	104	25	12	13	37	65	9	56	74
0506	55,2	7,8	38	85	106	12,7	77	149	38,8	7,4	14	69	67,8	7,9	49	93
	54,5	13,5	41	68	104	20	84	124	33	13	20	46	70	14	56	84
	54,5	7,5	47	62	104	12	92	116	33	7	26	40	70	6	64	76
0508	48,2	16	29	109	100	12,8	73	129	25,6	6,8	12	49	59,7	9,7	41	81
	60	32	28	92	98	22	76	120	25,5	13,5	12	39	58	14	44	72
	44,5	7,5	37	52	102	10	92	112	26	5	21	31	64	8	56	72
0510	41,2	6,3	29	59	100	25,6	61	177	29,7	11,2	7	54	59,9	18,6	25	105
	41	11	30	52	104	44	60	148	29	18	11	47	60	32	28	92
	40	5	35	45	88	20	68	108	29	12	17	41	56	16	40	72
0511	47,8	7,3	25	71	101,5	16,3	57	161	33	9,2	5	60	66,1	13,8	25	125
	48,5	13,5	35	62	98	30	68	128	33,5	17,5	16	51	60	28	32	88
	46,5	5,5	41	52	98	14	84	112	32,5	8,5	24	41	70	10	60	80
0512	52,9	13,8	35	135	90,2	15,6	69	153	31,5	12,1	11	77	60,3	11,1	45	89
	54	20	34	74	92	24	68	116	33	18	15	51	62	18	44	80
	49	8	41	57	84	12	72	96	30,5	10,5	20	41	62	10	52	72
0513	50,6	9,1	37	83	99,7	17,5	65	141	32,8	14,2	11	67	71	14,5	37	101
	51	15	36	66	100	28	72	128	34,5	21,5	13	56	68	24	44	92
	48	8	40	56	104,5	16,5	88	121	26	13	13	39	72	12	60	84

PINS SYLVESTRES (SCHISTES)

Canal \ Unité	Juin - Canal 5				Juin - Canal 7				Octobre - Canal 5				Octobre - Canal 7			
	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max
0601	38,7	12,3	11	73	93,8	32,7	21	165	40,6	14	8	93	42,8	11,5	25	93
	36	21	15	57	90	58	32	148	44,5	31,5	13	76	54	26	28	80
	40,5	10,5	30	51	102	30	72	132	38	6	32	44	40	4	36	44
0602	51,3	44,2	12	255	97,9	35,7	17	225	32,2	23,8	1	125	51,6	16,5	5	125
	85,5	74,5	11	160	115,5	75,5	40	191	38,5	37,5	1	76	54	30	24	84
	34	10	24	44	90	26	64	116	20,5	15,5	5	36	52	12	40	64
0603	42,3	11	25	112	80,2	11,2	57	133	45,3	16	26	93	67,2	6,8	49	93
	44	16	28	60	82	18	64	100	52	24	28	76	68	12	56	80
	42,5	6,5	36	49	73,5	5,5	68	79	38	7	31	45	68	4	64	72
0604	38,8	8,8	25	84	96,7	30,8	41	189	28,9	15,9	2	77	66	19,9	25	117
	43	15	28	58	110	54	56	164	30,5	26,5	4	57	68	36	32	104
	38,5	8,5	30	47	80	20	60	100	22,5	14,5	8	37	66	18	48	84
0605	30,1	7,3	14	71	96,1	24,3	49	177	27,9	19,5	2	96	56,4	18,5	13	109
	29	13	16	42	102	42	60	144	34	30	4	64	56	32	24	88
	31,5	5,5	26	37	88	20	68	108	24	16	8	40	60	16	44	76
0606	40,4	12,8	25	170	101,9	26,4	53	173	20	10,9	1	61	54	19,1	17	113
	42	14	28	56	101,5	41,5	60	143	23	19	4	42	60	36	24	96
	37	5	32	42	95	27	68	122	16	10	6	26	52	16	36	68
0607	31,5	5,85	20	59	81,4	24,1	49	181	37,9	26,4	2	125	55,2	18,9	21	125
	34	10	24	44	98	42	56	140	48,5	42,5	6	91	58	34	24	92
	32	4	28	36	74	14	60	88	27	21	6	48	50	14	36	64
0608	34,3	20,8	17	165	87,4	28,2	25	173	27,4	22,2	2	106	50,2	18,3	13	121
	22,5	12,5	20	45	96	44	52	140	40	36	4	76	58	34	24	92
	32	5	27	37	74	22	52	96	18	14	4	32	44	12	32	56
0609	30,8	6,2	20	53	96,5	31,6	53	169	62,6	27	12	129	66,6	22,5	17	129
	33	11	24	44	106	50	56	156	61,5	46,5	15	108	68	40	28	108
	28,5	5,5	23	34	88	28	60	116	64,5	27,5	37	92	60	20	40	80
0610	33,8	4	26	50	101,2	17,5	73	141	76,3	17	29	105	80,1	13	53	105
	34	6	28	40	102	26	76	128	72	28	44	100	78	22	56	100
	33,5	3,5	30	37	96	16	80	112	80	12	68	92	86	10	76	96

HETRAIE

Canal Unité	Juin - Canal 5				Juin - Canal 7				Octobre - Canal 5				Octobre - Canal 7			
	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max
0701	48,9	21,3	31	121	132	20	77	165	10,8	2,5	7	20	69,4	15,1	45	101
	50,5	19,5	31	70	132	28	104	160	10,5	4,5	6	15	68	24	44	92
	39	5	34	44	140	16	124	156	12	2	10	14	62	14	48	76
0702	47,9	5,7	38	67	101	11,6	69	133	23,4	7,9	11	58	77,4	11,8	45	101
	47	10	37	57	104	20	84	124	25	12	13	37	80	20	60	100
	48	4	44	52	98	10	88	108	22	6	16	28	78	10	68	88
0703	45,6	15,8	29	99	71,7	6,5	61	85	13,9	4,3	6	32	49,3	6,4	37	65
	59	29	30	88	70	10	60	80	13,5	7,5	6	21	52	12	40	64
	40	5	35	45	72,5	4,5	68	77	13,5	2,5	11	16	49	5	44	54
0704	42,4	6,4	28	63	95,6	13,7	57	133	16,8	4,4	9	32	75,1	17,3	33	121
	41	11	30	52	94	26	68	120	18	8	10	26	74	30	44	104
	40	5	35	45	98	10	88	108	16,5	3,5	13	20	76	16	60	92
0706	46,7	5,5	36	67	105	14,5	77	141	20,7	6,3	11	47	74,1	13,1	49	117
	45,5	10,5	35	56	108	28	80	136	20,5	10,5	10	31	80	24	56	104
	45	4	41	49	100	12	88	112	18	4	14	22	76,5	11,5	65	88
0709	39,9	6,4	29	61	116	19,8	81	169	22,6	11,8	8	53	75,6	25	37	137
	39,5	11,5	28	51	120	32	88	152	26	18	8	44	76	40	36	116
	38	4	34	42	114	18	96	132	15	7	8	22	64,5	23,5	41	88
0711	42,6	6,2	29	73	121	21,4	73	193	21,7	6	10	45	71,7	16,2	37	121
	44,5	10,5	34	55	126	38	88	164	24	11	13	35	76	28	48	104
	41	5	36	46	118	18	100	136	22,5	5,5	17	28	70	14	56	84
0712	37,1	5,3	29	52	127	25,2	73	197	13,1	4,5	2	29	56,6	14,4	25	97
	36,5	8,5	28	45	128	44	84	172	13	7	6	20	62	26	36	88
	38	4	34	42	122	22	100	144	13	4	9	17	48	12	36	60
0714	30,1	3,7	25	38	132,1	19,9	89	189	15,7	4,1	9	29	68,7	18,8	41	117
	29,5	5,5	24	35	138	34	104	172	16	6	10	22	74	30	44	104
	31,5	3,5	28	35	126	14	112	140	16,5	3,5	13	20	62	14	48	76
0715	31	3,7	25	43	122	22	69	169	12,2	3,6	2	23	67,1	17,9	25	101
	30	6	24	36	112	40	72	152	12,5	6,5	6	19	70	30	40	100
	31	3	28	34	124	20	104	144	13	3	10	16	70	18	52	88

HETRAIE-SAPINIÈRE ET SAPINIÈRE

Canal Unité	Juin - Canal 5				Juin - Canal 7				Octobre - Canal 5				Octobre - Canal 7			
	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max
0802	40,9	10,5	28	104	81,9	11,7	65	121	4,8	8,4	2	65	46,4	10,8	21	73
	42	14	28	56	84	20	64	104	16	12	4	28	50	18	32	68
	36	6	30	42	76	8	68	84	11	6	5	17	46	10	36	56
0803	35,1	7,3	23	71	119	27,6	57	201	14,6	7,8	2	54	62,2	26,1	9	129
	36	12	24	48	128	52	76	180	16	12	4	28	70	50	20	120
	32,5	4,5	28	37	108	20	88	128	13	6	7	19	52	20	32	72
0805	26,7	7,7	14	72	84	25,7	37	169	10,2	7,5	1	47	45,7	22,1	5	133
	25	10	15	35	84	44	40	128	12,5	12,5	0	25	49	39	10	88
	27	5	22	32	86	22	64	108	8	5	3	13	40	20	20	60
0806	44,8	8,7	29	90	119	21,2	73	177	13,1	6,1	2	45	62,5	18,4	17	121
	44	16	28	60	124	36	88	160	15	12	3	27	64	32	32	96
	41,5	6,5	35	48	114	18	96	132	12	4	8	16	60	16	44	76
0807	47,2	16,7	31	143	103	21,3	65	165	24,8	9,8	8	54	89,9	25,4	29	137
	51	21	30	72	102	38	64	140	22	15	7	37	74	42	32	116
	41	7	34	48	96	16	80	112	27	8	19	35	100	16	84	116
0809	36,1	5,9	25	52	118	23	81	153	20,8	20,5	2	85	60,4	21,2	17	101
	36	8	28	44	114	34	80	148	30,5	25,5	5	56	48	20	28	88
	33,5	3,5	30	37	133,5	18,5	115	152	12	4	8	16	72	16	56	88

PINS SYLVESTRES (GRANITES)

1101	34,8	6,2	25	49	75,5	9,8	57	105	13,6	3,9	9	27	41,6	5,9	29	57
	36,5	8,5	28	45	77,5	17,5	60	95	15	7	8	22	42	10	32	52
	34	6	28	40	74	6	68	80	13	3	10	16	40	4	36	44
1102	33,7	5,6	23	52	94,3	27,6		173	30,9	18,7	2	73	49,5	14	21	97
	36	9	27	45	104	44	60	148	36	28	8	64	52	24	28	76
	32	4	28	36	84	20	64	104	24	16	8	40	46	10	36	56
1103	28,5	4,8	20	61	70,6	28	49	177	13,9	4,2	7	40	47,8	16,4	33	125
	29,5	7,5	22	37	98	50	48	148	19,5	11,5	8	31	64	32	32	96
	25	3	22	28	56	8	48	64	12	2	10	14	42	2	40	44

REBOISEMENT DE MOYENNE ALTITUDE

Canal Unité	Juin - Canal 5				Juin - Canal 7				Octobre - Canal 5				Octobre - Canal 7			
	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max
0901	32,1	9	20	63	80,9	25,7	45	181	18,2	10,7	1	60	44,5	16,5	9	101
	34	15	19	49	86	42	44	128	21,5	17,5	4	39	46	30	16	76
	28,5	6,5	22	35	70	18	52	88	17	9	8	26	44	12	32	56
0902	30,1	4,9	23	46	127,8	24,3	70	185	12,7	5	5	29	50,5	17	25	101
	30,5	6,5	24	37	120	48	72	168	14,5	8,5	6	23	58	30	28	88
	27,5	3,5	24	31	136	20	116	156	11	4	7	15	46	10	36	56
0904	28,4	5,3	16	45	76	17,9	41	117	15,5	16,3	2	105	45,5	14,5	21	85
	28	9	19	37	76	32	44	108	20,5	19,5	1	40	48	24	24	72
	28	4	24	32	76	16	60	92	11	5	6	16	43	13	30	56
0907	43,9	12,3	25	83	95,4	24,4	53	201	23,6	11,3	5	65	66	23,4	21	141
	49	21	28	70	102	42	60	144	28	20	8	48	72	40	32	112
	37,5	7,5	30	45	86	18	68	104	20	8	12	28	58	18	40	76
0909	40,8	10,1	23	67	83,1	19	49	129	21,1	10,2	7	49	53,6	12,7	29	93
	41	18	23	59	82	30	52	112	23	16	7	39	56	20	36	76
	38	10	28	48	94	14	80	108	19,5	8,5	11	28	50	10	40	60
0910	38,5	7,5	25	78	89,3	24,3	49	157	17,6	9,5	5	89	65,7	20,3	25	129
	39,5	11,5	28	51	94	38	56	132	18,5	12,5	6	31	70	30	40	100
	35,5	5,5	30	41	78	22	56	100	15,5	4,5	11	20	58	18	40	76
0911	44,6	5,9	32	67	108,6	22,8	69	189	16	7,1	2	45	60,7	20,3	21	125
	45	11	34	56	114	42	72	156	18,5	12,5	6	31	56	36	20	92
	44,5	4,5	40	49	104	16	88	120	12	5	7	17	48	20	28	68

HETRAIE - CHENAIE

Canal Unité	Juin - Canal 5				Juin - Canal 7				Octobre - Canal 5				Octobre - Canal 7			
	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max
1001	30	5,3	23	63	128,8	20,1	81	181	14,2	5,2	6	36	56,9	17,9	17	101
	33	9	24	62	36	72	92	164	14,5	8,5	6	23	60	32	28	92
	29	2	27	31	126	18	108	144	13	4	9	17	52	16	36	68
1002	40	5,8	29	57	133,9	31,2	77	197	24,5	10,1	11	77	73,1	24,3	29	125
	38	10	28	48	134	50	84	184	22,5	12,5	10	35	70	38	32	108
	39,5	4,5	35	44	120	32	88	152	23,5	4,5	19	28	76	24	52	100
1003	33,9	5,1	23	52	120,9	24	69	177	18,5	5,5	9	36	80,9	26,4	33	133
	33,5	8,5	25	42	120	40	80	160	19	9	10	28	80	40	40	120
	33	4	29	37	128	24	104	152	17,5	4,5	13	22	84	28	56	112
1005	30,4	4,9	23	43	131,3	30,7	65	205	15,3	4,8	7	29	59,9	18,1	21	101
	29,5	7,5	22	37	123	51	72	184	16,5	8,5	8	25	60	32	28	92
	31	4	27	35	130	26	104	156	15	4	11	19	64	16	48	80
1006	35,4	5,7	20	53	139,1	30	61	205	17,1	5,36	7	32	76,1	25,2	25	133
	34,5	10,5	24	45	130	54	76	184	16	10	6	26	78	42	36	120
	33,5	3,5	30	37	146	26	120	172	17,5	4,5	13	22	68	24	44	92
1007	33,7	4,6	23	52	110,2	24	57	181	18,4	5,5	5	38	61,8	12,8	29	105
	33,5	8,5	25	44	112	48	64	160	18	10	8	28	62	22	40	84
	33	3	30	36	146	26	120	172	16,5	3,5	13	20	62	10	52	72
1009	36,4	5	25	52	107,7	23,8	61	161	19,4	10	2	75	70,9	28,1	17	129
	36	8	28	44	108	40	68	148	20,5	16,5	4	37	66	46	20	112
	38	4	34	42	112	24	88	136	16	8	8	24	72	28	44	100
1010	52,2	10,6	29	83	112,2	16,4	73	173	20,1	8,5	5	45	64	19,2	21	133
	53,5	18,5	35	72	110	30	80	140	21,5	13,5	8	35	66	34	32	100
	52	10	42	62	114	14	100	128	15,5	7,5	8	23	62	18	44	80
1012	47,2	13,6	23	81	118,6	21,6	69	177	25,1	12,3	4	62	68,2	21	13	113
	47	23	24	70	126	38	88	164	31,5	23,5	8	55	66	38	28	104
	42,5	12,5	30	55	118	18	100	136	24,5	11,5	13	36	68	20	48	88
1014	40,1	6,69	26	56	128,8	22	69	177	18,3	12,1	2	76	65,7	20	29	109
	39,5	11,5	28	51	128	36	92	164	28	24	4	52	66	34	32	100
	41	6	35	47	137,5	17,5	120	155	16,5	5,5	11	22	70	18	52	88

LANDE MIXTE DE BASSE ALTITUDE

Canal Unité	Juin - Canal 5				Juin - Canal 7				Octobre - Canal 5				Octobre - Canal 7			
	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max	m	s	min	max
1202	43,6	5,4	30	57	116,3	16,2	84	152	29,2	7,9	12	51	52,9	10	28	80
	43	9	34	52	114	27	87	141	26,5	14,5	12	41	50	18	32	68
	44,5	4,5	40	49	110	14	96	124	30,5	6,5	24	37	54	6	48	60
1204	84,6	44,1	24	160	110,7	16,5	72	152	22,8	6,6	8	36	47,6	11,2	28	76
	88	64	24	152	112	28	84	140	21,5	10,5	11	32	48	20	28	68
	70	42	28	112	110	14	96	124	25	6	19	31	44	8	36	52
1206	63,5	32,2	24	140	108,1	12,4	80	136	25,2	7,9	6	45	52	11,7	32	92
	64	40	24	104	111,5	24,5	87	136	24	13	11	37	52	20	32	72
	64	28	36	92	110	10	100	120	24,5	6,5	18	31	48	8	40	56
1207	37,4	5,8	28	51	94,3	20,5	60	144	22,4	9,3	5	42	52,9	17,7	24	96
	37,5	9,5	28	47	97	33	64	130	21	16	5	37	54	30	24	84
	37	5	32	42	84	16	68	100	19,5	8,5	11	28	44	12	32	56
1209	33,1	6,4	24	50	114,2	20,9	68	156	45,2	18,1	8	84	66,7	13,5	36	92
	33	9	24	42	116	36	80	152	40	32	8	72	66	22	44	88
	31,5	3,5	28	35	118	18	100	136	46	15	31	61	64	12	52	76
1212	94,7	38,6	30	172	93,3	20,5	52	156	20	8,1	4	44	52,8	19	12	104
	89,5	59,5	30	149	92	36	56	128	18	14	4	32	58	34	24	92
	105,5	38,5	67	144	90	18	72	108	18	7	11	25	44	16	28	60
1213	43,2	11,1	24	80	102,5	23,3	60	160	22	8,6	6	55	60,1	20,4	20	116
	47	19	28	66	106	42	64	148	22,5	14,5	8	37	64	36	28	100
	39,5	9,5	30	49	100	20	80	120	21	7	14	28	58	18	40	76
1214	65,9	6,7	51	80	120,4	13,1	96	152	26,3	10,3	8	44	59	19,7	32	104
	66	11	55	77	120	24	96	144	28,5	15,5	13	44	64	32	32	96
	66	6	60	72	118	10	108	128	25,5	9,5	16	35	54	14	40	68