

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 23466, ex 1

Cpte : B 20.III.1984

PAPER N° X.1.8.

CARTOGRAPHIE PAR TELEDETECTION DE LA VEGETATION  
 ET DE L'OCCUPATION DES SOLS EN REGION DE MONTAGNE  
 (L'EXEMPLE DU CENTRE DU NEPAL)

par D. BLAMONT (E.R. 299; Centre National de la Recherche  
 Scientifique, C.N.R.S.; FRANCE)

et C. MERING (Institut Francais de Recherche Scientifique  
 pour le Developpement en Coopération; O.R.S.T.O.M., FRANCE)

## RESUME

Dans les régions montagneuses, l'occupation des sols dépend entre autres de l'exposition des versants et de l'étagement des climats. Les réponses spectrales des unités de paysage (couverts végétaux, espaces cultivés) y varient également en fonction de l'éclairement des pentes au moment des prises de vue satellitaires (LANDSAT M.S.S. dans le cadre de cette étude). Pour ce dernier type d'ambiguïté, nous utilisons un modèle d'ensoleillement qui nous permet de traiter séparément des ensembles où l'éclairement est considéré comme étant homogène. La méthode que nous utilisons alors pour traiter l'ensemble des données est composée d'étapes successives au cours desquelles sont entièrement identifiées et formalisées:

- les unités traitées (pixels ou groupes de pixels)
- les variables utilisées pour classer les unités: bandes spectrales, indices de végétation, de texture et de forme, modèle numérique de terrain calculé à l'échelle du pixel LANDSAT (altimétrie et pentes), modèle d'ensoleillement.
- les méthodes numériques employées pour classer les unités (classification automatique, seuillage de fonctions). Cette chaîne de traitement permet de produire une carte de la végétation (essences et densités) et de l'étagement des cultures.

## ABSTRACT.

Among the specified difficulties encountered while mapping vegetation and landuse utilizing remote sensing data (LANDSAT M.S.S.) in montaneous areas like the Himalaya of Central Nepal, one has to deal with the different lighting conditions of the slopes at the moment of data collection. Rather than trying to correct the signal itself, the MSS original data have been clustered and treated separately according to sun illumination. An illumination model elaborated from a topographical map has been worked out and utilized to identify 3 types of homogeneously lighted slopes. In order to treat separately these 3 types of slopes, we have utilized :

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 23466, ex 1

Cote : B

1. An automatic classification from the 4 MSS bands and a sample of representative ground-truths (Bayesian non parametric discrimination).
2. A fuzzy thresholding of the topographical model from ground-truth data
3. Texture indexes dealing with vegetation and land use grading.

We use a stepwise numerical process which allows to treat each landscape unit not properly identified at the previous step. The parameters utilized at each step as well as the order of their utilization are stored by the system. At each step, the system allows to store the 3 following sets:

- The unities to be recognized (pixels, groups of pixels) which have not been identified at the previous step.
- The variables describing the unities to be identified (MSS bands, illumination, topography, texture indexes)
- The numerical clustering method called for (multivariable classification, thresholding of a function, image segmentation)

The final output is a map of vegetation (forest types and densities) and land use. According to its conception, this system provides automatically a complete description of the algorithm having produced the map.

## 1. Introduction; Objectifs.

Les couverts végétaux (forêts et prairies) et les espaces cultivés des pays himalayens du Centre du Népal sont en constante évolution: la pression démographique en augmentation rapide entraîne des changements dans les rotations culturales, des défrichements incessants, des phénomènes de surpâturage et une surexploitation de la forêt qui sont à l'origine d'une dégradation du milieu naturel qu'il est urgent de freiner. Il convient de cartographier ces phénomènes et de suivre ces évolutions d'une année sur l'autre. Pour ce faire la télédétection devrait offrir un outil particulièrement adapté.

Outre les problèmes rencontrés dans toute cartographie de la végétation et des espaces cultivés par télédétection, une telle entreprise en milieu montagnard se heurte au problème spécifique de la multiplicité des réponses radiométriques caractéristiques de chaque unité de paysage en raison des différentes expositions des versants.

La méthode présentée ici consiste en une chaîne de traitements permettant à l'opérateur d'adapter sa démarche aux problèmes rencontrés et aux variables dont il dispose, en décidant de l'ordre d'utilisation de ces variables. Les unités de paysage qu'il veut cartographier doivent avoir été identifiées avant le traitement des données; des procédures de validation à chaque étape de la chaîne lui permettent de vérifier d'une part le bien-fondé du choix de la variable utilisée pour l'étape en question, d'autre part la pertinence de sa taxinomie et des parcelles-tests introduites en début de traitement.

## 2. Problématique

### 2.1. Problèmes spécifiques de la région du Centre du Népal

#### 2.1.1. Effets du gradient altitudinal

- Multiplicité des unités de paysage: dans la région étudiée ici, les amplitudes altitudinales sont très fortes: un seul versant peut avoir des commandements de l'ordre de 4000 à 5000m. Il en résulte un étagement des

climats et des milieux qui va du sub-tropical à l'alpin et donc une très grande variété des unités de paysage.

- Taille des unités de paysage: les gradients altitudinaux étant très forts (les pentes oscillent autour de 40% en moyenne), les étages de la végétation sont très étroits: la taille des unités de paysage est souvent très réduite.
- Les limites entre les différentes formes de végétation sont le plus souvent des limites naturelles, donc floues ou progressives.

#### 2.1.2. Action anthropique

- Les marges sont également floues entre les unités de paysage "naturelles" et les espaces cultivés: le plus souvent les champs sont bordés par des espaces pâturés où la végétation se fait plus dense au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'espace cultivé.
- Les forêts sont très exploitées et ce sont les pentes les plus accessibles qui le sont évidemment le plus intensément; aux irrégularités naturelles viennent donc s'ajouter de grandes différences de densité dues à la surexploitation des secteurs de faibles pentes et des secteurs les plus proches des territoires cultivés ou pâturés.

#### 2.1.3. Effets de l'ensoleillement, méthode proposée

A l'heure de la prise de vue satellitaire (9h 30), l'élévation solaire est faible et il existe de forts contrastes dans l'ensoleillement des versants. Faut d'une méthode déjà validée de correction du signal, nous avons utilisé un modèle d'ensoleillement (ME I.G.N. 83) pour déterminer et traiter séparément des secteurs à l'intérieur desquels l'influence de l'exposition sur la radiométrie est considérée comme négligeable par rapport aux différences de radiométrie entre les unités de paysage.

Les secteurs qui ne sont pas directement éclairés par le soleil seront dits "secteurs à l'ombre"; ceux qui reçoivent la lumière directe du soleil seront dits soit "secteurs à la lumière" quand ils font face au soleil, soit "secteurs à la lumière rasante" lorsqu'ils sont exposés au nord ou à l'est et reçoivent ses rayons tangentiellement. Ces derniers secteurs sont le plus souvent également constitués de portions recevant un éclairage direct et de portions à l'ombre; mais la taille de ces portions étant de l'ordre du pixel, leur juxtaposition fait que la réflectance mesurée est une moyenne entre les réflectances des différentes portions et justifie l'élaboration de la catégorie "lumière rasante". Ce dernier type de secteur inclut également les marges, généralement étroites, entre secteurs à l'ombre et secteurs à la lumière: l'utilisation des indices de texture est alors plus difficile.

Les différences d'exposition ont aussi pour conséquence des différences dans la qualité de l'atmosphère au dessus de chaque type de secteur: les voiles atmosphériques sont plus fréquents et importants au dessus des secteurs à l'ombre et la dynamique de la radiométrie y est beaucoup plus faible.

#### 2.2. Données M.S.S.

2.2.1. La radiométrie mesurée est celle d'une surface ne correspondant pas au modèle Lambertien: les variations de pente sur un même versant font que la quantité de lumière reçue n'est pas la même sur toutes les portions du versant. Il y a là une nouvelle cause de variation dans la radiométrie.

2.2.2. la taille du pixel M.S.S. est supérieure à celle des variations que nous venons de décrire. Il en résulte que, la plupart du temps, la radiométrie mesurée est en fait une radiométrie moyenne: ceci ne doit être oublié ni pendant l'élaboration de la carte ni pendant son utilisation.

3. Traitement numérique des données: Construction de la chaîne de traitement  
 Nous avons imaginé un système permettant de construire plusieurs chaînes concurrentes répondant à un même objectif et de les comparer en fonction de critères de satisfaction prédéterminés. Il peut donc être assimilé à un module d'apprentissage du traitement des données satellitaires et de données géocodées pour la représentation cartographique d'unités de paysage. C'est à partir de cette conception que nous avons expérimenté les traitements en fonction des objectifs décrits au paragraphe 1.

### 3.1. Les caractéristiques explicites d'une chaîne quelconque

Elles sont au nombre de quatre et déclarées au début de la chaîne:

- L'objectif : + taxinomie
  - + extraction d'objets spécifiés
  - + mesures sur des objets spécifiés
- Les données: + données de télédétection
  - + données exogènes de type images 2-D
  - + données exogènes quelconques (réalités de terrain, statistiques, mesures, etc...)
- Les hypothèses: + classes " a priori"
  - + hypothèses sous contraintes exogènes (cartes, statistiques, prototypes...).
  - + règles explicites quelconques décrivant les classes ou objets recherchés (répartition spatiale, forme géométrique ou réponse radiométrique, texture spécifique....)
- Les critères de satisfaction: + tests statistiques
  - + tests logiques (satisfaction des règles spécifiées)
  - + mesure de ressemblance entre l'objet sur l'image et l'objet recherché.

### 3.2. Les étapes de la chaîne

L'ordre des étapes n'est pas déterminé a priori. C'est l'utilisation du module d'apprentissage qui permettra de choisir la meilleure séquence. Chaque étape peut être décrite par les sept caractéristiques suivantes:

- Place dans la chaîne
- Images d'entrée : + nombre, types (teintes de gris, étiquetées)
- Unités d'entrée : + pixels
  - + groupes de pixels
  - + composantes connexes
- Objectifs: + amélioration du rapport signal/bruit
  - + réduction du nombre d'images
  - + segmentation
  - + classification en un nombre déterminé de classes
  - + extraction d'objet
  - + mesure
- Mise en oeuvre: + méthodes ou algorithmes
  - + utilisation d'hypothèses (lesquelles)
  - + utilisation de données exogènes (lesquelles)

TABLEAU A1

## Application du modèle de construction

Objectif: taxinomie du couvert végétal et des espaces cultivés  
 Données : 4 canaux MSS Landsat  
           Modèle numérique de terrain de Masson d'Autume  
           Modèle d'ensoleillement dérivé du modèle de terrain  
 Hypothèses: 3 zones d'éclairement homogène  
               7 classes d'unités de paysages différenciables  
               4 étages de couvert végétal  
 Critère de satisfaction: Pourcentage de pixels mal classés après  
                           rétiquetage < S

TABLEAU A2

## Un exemple de séquence :

- Etape 1 : Partition des images (superposables à l'image Landsat)  
 en 3 secteurs d'éclairement significativement différent  
 Etape 2 : Discrimination des pixels du secteur 1 décrits par leur  
 signature spectrale en 7 classes : obtention de 15 segments  
 Etape 3 : Discrimination des segments à majorité Forêt Sombre en 4  
 catégories, par seuillage de l'Altitude en 3 seuils  
 Etape 4 : Discrimination des segments contenant des pixels de la  
 classe Prairie et Landes en 2 catégories par seuillage de  
 l'Altitude à l'aide d'un seuil unique: catégorie pure  
 et catégorie mixte  
 Etape 5 : Discrimination des pixels de la catégorie mixte obtenue  
 dans l'étape 4 par seuillage de la Pente à l'aide d'un  
 seuil unique: obtention d'une catégorie Prairie et Landes  
 et d'une catégorie Forêt

TABLEAU A3

Segment 5				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1:	0	161	0	0
2:	0	101	0	0
3:	2	61	3	0
4:	1	31	3	0
5:	0	143	0	0
6:	232	233	100	100
7:	0	21	0	0

- + utilisation des règles (lesquelles)
- + utilisation d'une procédure de contrôle (laquelle)
- Images en sortie: + nombre, types
- Unités en sortie: + pixels
  - + groupes de pixels
  - + composantes connexes
  - + mesures

#### 4. Application du modèle de construction au cas traité

On trouvera au tableau A1 les caractéristiques de la première chaîne construite et au tableau A2 la première séquence expérimentée.

Le module d'apprentissage va nous permettre d'expérimenter de nouvelles hypothèses ou de nouvelles règles lors de la construction de la chaîne comme par exemple de modifier le nombre de catégories du couvert végétal, ou le nombre de seuils altitudinaux de la végétation et leurs valeurs.

Le critère de satisfaction peut également varier. Mais sa modification entraîne la réinitialisation complète de l'apprentissage, puisque c'est ce critère qui permet de choisir la meilleure chaîne.

Nous pourrions également modifier l'ordre des étapes, ce qui nous permettra d'évaluer le rôle respectif des groupes de variables (radiométrie, altitude, texture), des hypothèses et des règles utilisées.

##### 4.1. Méthode de discrimination utilisée à l'étape 2

Nous essayons de classer les pixels LANDSAT en fonction d'une typologie du couvert végétal définie a priori. Chaque classe est représentée par un échantillon de pixels appelé 'réalité-terrain'. Les conditions pour effectuer une Analyse Discriminante sont donc réunies. A l'Analyse Factorielle Discriminante, nous avons préféré une analyse pratiquant la segmentation des variables explicatives. En effet nous ne cherchons pas la meilleure combinaison linéaire discriminant les classes mais bien les seuils permettant la meilleure discrimination entre les classes. Il s'agit d'une méthode de discrimination bayésienne non paramétrique (CELE. 80), segmentant les variables en fonction des classes a priori dont les échantillons témoins sont fournis par l'utilisateur de la méthode.

Les résultats sont fournis sous forme de segments terminaux dont on connaît la composition grâce à l'édition de tableaux à 5 colonnes tels que le tableau A3 (composition du segment numéro 5 obtenu à l'étape 2)

Les 3 premières colonnes indiquent respectivement le code de la classe a priori, l'effectif des éléments de la classe présents dans le segment, l'effectif total de la classe.

Les 2 dernières colonnes indiquent respectivement l'effectif des éléments de la classe qui appartiennent au segment et l'effectif des éléments du segment qui appartiennent à la classe.

Enfin le segment est défini par les coupures effectuées sur les variables les plus discriminantes.

##### 4.2 Méthodes de sélection utilisées au cours des étapes 1,3,4,5.

Il s'agit cette fois-ci d'introduire des règles déclaratives simples fondées sur les connaissances du thématique. Dans le cadre de notre système, ces règles sont des hypothèses pouvant être aisément testées et modifiées à des fins d'apprentissage. Dans cette expérience, les règles reviennent à segmenter une seule variable à la fois, les seuils étant déterminés par l'utilisateur.

Ainsi, à l'étape 1, la variable "Ensoleillement" est segmentée en 3 seuils:

- Ensoleillement < 15
- 15 < Ensoleillement < 21
- 21 < Ensoleillement

La pertinence de ces seuils n'a été contrôlée qu' a posteriori, par réétiquetage des parcelles tests appartenant à chacune des 3 zones d'ensoleillement ainsi définies.

A l'étape 3, la variable "Altitude" est segmentée par 3 seuils définissant l'étagement du couvert végétal. Le contrôle de la pertinence de ces seuils s'effectue suivant la même procédure qu'à l'étape 1.

#### 5. Mise en oeuvre

Dans le cas des paysages que nous souhaitons cartographier, des analyses préalables nous ont montré que le nombre optimal de classes était de 7: ainsi on peut disposer de taxons utilisables par les lecteurs de la carte (analyse de la végétation, aménagement des paysages) et de classes dont l'individualisation par la méthode reste possible. Les 7 classes retenues sont:

- la chênaie
- la sapinière
- la rhodoraie
- la forêt claire sub-tropicale
- la prairie et les landes
- les champs nus
- les champs portant une céréale d'hiver

Pour chaque étape, le choix de chacune des variables (dans le cas de l'étape 1, la radiométrie plutôt que des indices -texture ou indice de végétation-) a été effectué après des tests comparatifs de performance.

5.1. Etape 2: le contenu des segments terminaux dans le cas de 7 classes: on obtient 4 groupes de segments regroupant des classes distinctes mais d'unités de paysage comparables: les différents types de Forêts Denses, les Forêts Claires et Les prairies et Landes; les deux classes de champs sont bien discriminées entre elles mais des incertitudes subsistent avec les classes de Prairies et Landes et de Forêt Claire et quelques segments comprenant des pixels de Forêt Dense et de Prairies et Landes.

5.2. Etape 3: la prise en compte de l'étagement de la végétation se fait grâce à une rapide recherche sur le terrain et l'observation des documents existants (carte de la végétation (DOBRE. 78), carte topographique du Survey of India 1 inch/1 mile). On détermine des altitudes minima et maxima pour chaque unité de paysage (ou classe) et des franges d'incertitude dans lesquelles on a la même probabilité de rencontrer deux ou trois classes, puis on seuille des groupes de segments (par exemple, le groupe des segments de Forêts Denses ou de la Prairie et Landes) en fonction des limites altitudinales élaborées pour les unités de paysage concernées.

5.3. Etape 4: on ne choisit pas les mêmes variables non seulement d'un type d'ensoleillement à l'autre, mais encore pour classer les différents groupes de segments à l'intérieur d'un même secteur d'ensoleillement: il convient donc d'adopter des démarches particulières à chaque cas, comme on peut le voir dans les deux exemples pris dans le secteur à l'ombre développés ci-dessous.

#### 5.4. Exemples de traitements du secteur "ombre"

##### 5.4.1. Le groupe de segments Forêt Dense

Le seuillage du groupe (forêt dense) de segments obtenus à l'étape 2 a été fait de la façon suivante: on ne trouvera pas de chênes au dessus de 3000m, pas de sapins au dessous de 2800m et pas de rhododendrons au dessous de 3350m: tous les pixels au dessous de 2800m seront classés chênes et les pixels situés entre 3350m et 3000m seront classés sapins. Tous les pixels se trouvant au dessus de 3350m (sapins-rhododendrons) et entre 2800m et 3000m (chênes-sapins) seront dits appartenir à des franges d'incertitude et devront être traités dans une étape suivante. (Dans le cas des autres secteurs d'éclaircissement et des autres formes de l'occupation des sols, la problématique reste la même mais les limites altitudinales changent.)

##### 5.4.2. Le groupe de segments Prairie et Landes

Dans ce cas, le relatif mauvais résultat de l'étape 2 semble du au fait qu'il est très difficile d'élaborer des parcelles-tests de prairie à cause de la faible extension de ces prairies dans les secteurs à l'ombre: il a ainsi fallu inclure dans ces parcelles des landes dont les densités sont très variables et prettent, du point de vue de la radiométrie, à confusion avec les sapinières et chênaies dont les densités de peuplement sont aussi très variables.

Tous les segments contenant des pixels des parcelles-tests de Prairie et Landes ont été regroupés en un groupe qui a également été seuillé par l'altitude: au dessus de 4000m tous les pixels ont été classés en Prairie et Landes; au dessous de 1500m le sous-groupe a perdu l'appellation Prairie et Landes; entre 4000m et 1500m on a élaboré des sous-groupes avec les mêmes coupures altitudinales que dans le cas des Forêts Denses.

Un seuillage par la pente nous a permis ensuite d'isoler les pixels de "Prairie et Landes" dans le sous-groupe "Prairie et Landes-Chênes-Sapins"; on a ainsi obtenu des pixels classés "Prairie et Landes" et des pixels classés "Chênes-Sapins". Ces derniers ont été regroupés avec ceux obtenus lors de l'étape décrite en 5.4.1. et portant la même appellation. On a procédé de même avec les sous-groupes "Prairie et Landes-Sapins" et "Prairie et Landes-Sapins-Rhododendrons". Le sous-groupe "Prairie et Landes-Chênes-Champs" demande un double seuillage par la pente.

#### 6. Conclusion

L'élaboration, sur une image LANDSAT M.S.S. d'un paysage de montagne du Centre du Népal, de trois secteurs où l'éclaircissement est considéré comme homogène nous a permis de résoudre le problème posé par la largeur et les recouvrements réciproques des spectres radiométriques des différentes unités de paysage (couverts végétaux, espaces cultivés). On peut ensuite traiter chacun des secteurs d'ensoleillement homogène à l'aide d'une chaîne de traitements adaptable aux problèmes spécifiques rencontrés lors de leur cartographie.



## BIBLIOGRAPHIE

D.BLAMONT. C.MERING. J.F.PARROT: "Essai de classification des unités de paysage en région montagneuse". Espace Géographique n°3, 1984, p. 224-232

D.BLAMONT. C.MERING. J.F.PARROT: "Numerical processes for identification of landscape units in montaneous areas". Actes du XV<sup>e</sup> Congrès de la Société Internationale de Photogrammétrie et de Télédétection (Rio de Janeiro; juin 1984.

CELE. 80: "Méthodes de discrimination non paramétrique asymptotiquement efficace au sens de Bayes". Rapport de recherche n°52, INRIA, de G.CELEUX. Y.LECHEVALLIER.

DOB. 1978: Carte écologique du Népal. Région de l'Ankhu Kholā-Trisuli au 1/50000. Editions du C.N.R.S. de J.F.DOBREMEZ. B.ION. A.MAIRE. G.TOFFIN.

M.E. IGN 78.: Modèle d'ensoleillement calculé à partir du modèle numérique de terrain de MASSON D'AUTUME (Equipe SAN I.G.N. FRANCE)