

ESSAI DE CLASSIFICATION DES UNITÉS DE PAYSAGE EN RÉGION MONTAGNEUSE (Centre du Népal)

Denis BLAMONT

CNRS, GRECO « Himalaya-Karakorum », Meudon

Catherine MERING, Jean-François PARROT

Laboratoire de télédétection, ORSTOM, Bondy

MÉTHODOLOGIE
MONTAGNE
NÉPAL
OCCUPATION DU SOL
PAYSAGE
TÉLÉDÉTECTION

RÉSUMÉ. — 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 y varient également en fonction de l'éclairement des pentes au moment des prises de vue satellitaires ; on peut tenter d'éliminer par des traitements appropriés les effets d'ombre dus à la topographie, et traiter séparément les thèmes selon la nature de l'éclairement : leur identification dans des plages à éclairement différent devra suivre un processus de classification automatique dépendant de la radiométrie et de ses dérivés, tels que paramètres de texture et d'environnement. Ce seuillage repose sur l'élaboration de variables dépendant de la variance et de l'occurrence des valeurs radiométriques majoritaires comprises dans une maille carrée (compacité radiométrique). On cherche ensuite à établir, pour une même tranche altitudinale, les corrélations existant éventuellement entre les réponses spectrales d'une famille de thèmes identiques (paysage) placés dans des conditions d'éclairement différent. La connaissance de la vérité de terrain est acquise grâce à un relevé cartographique dans les régions témoins et à un traitement supervisé des images (indices de végétation et paramètres de texture, analyse multibande et multitemporelle).

LANDSCAPE
LAND USE
METHODOLOGY
MOUNTAIN
NEPAL
REMOTE SENSING

ABSTRACT. — *Toward a classification of landscape units in a mountain region (Central Nepal).* — Land occupance in mountainous regions depends in part on slopes exposure and climatic zonation. Spectral analysis of landscape units also reveals variations which are due to the level of illumination on the slope at the time when the satellite images were actually registered. There are special treatments now which enable one to eliminate shadow effects which are due to topography; themes may now be treated separately in terms of the degree of illumination. The identification of these themes and their different light settings should follow an automatic classification system based on radiometric and other measures, e.g., parameters of texture and environment. This clustering procedure is based on analysis of variance in the occurrence and diversity of the major radiometric values found within a given grid square (spectral density). Within a given altitudinal zone, too, correlations can be calculated among spectral responses within a given family of identical themes, in different lighting contexts. Accurate information on «ground-truth» is found from a cartographic survey of the experimental region and through a supervised analysis of the images themselves (vegetation indices, parameters of texture, multi-spectral and multi-temporal analysis).

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 5

28725

Cote :

B ex 1

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote :

28725

Ex : 1

INTRODUCTION

L'occupation des sols est généralement fonction de la nature des sols, des régimes climatiques, du réseau hydrographique, du relief et de l'intervention humaine. Dans les régions de montagne, elle dépend naturellement de l'étagement de la végétation et également de l'exposition des versants et de l'importance de la pente. Dans ces mêmes régions, la réponse spectrale est influencée par l'heure de prise de vue des images satellitaires et par l'éclairement des pentes, qui dépend de la topographie.

Les satellites Landsat survolent toujours l'Himalaya du centre du Népal aux environs de 9 h 20 ; pour une même heure de passage, l'azimut et l'élévation solaire varient respectivement selon les saisons entre 140° et 90°, et entre 30° et 60° ; ces variations entraînent des modifications de l'angle d'incidence et de la direction des rayons lumineux : selon les saisons, quelques versants sont éclairés ou dans l'ombre ; toutefois, les versants occidentaux seront toujours à l'ombre, même si parfois l'éclairement peut être plus ou moins rasant en fonction de la pente ; les versants orientaux seront toujours directement éclairés.

Nous n'avons pas tenté de réétalonner les réponses spectrales quelles que soient les zones d'éclairement, mais nous avons cherché à isoler les thèmes en les étudiant dans leur environnement. Pour ce faire, nous avons suivi un processus de seuillage automatique dépendant de la valeur radiométrique et de ses dérivés, tels que paramètres de texture et d'environnement. Le classement non-supervisé proposé est un traitement monocanal dépendant de l'agencement spatial des thèmes étudiés. Il repose sur la définition des variables suivantes : fréquence radiométrique locale calculée sur une maille carrée, fréquence radiométrique moyenne calculée sur une fenêtre carrée dont la taille correspond à celle des zones témoins, seuillage de cette deuxième fonction.

Les simulations effectuées ont montré que les réponses dans la fonction de fréquence spatiale moyenne dépendent de la taille du thème et de la nature du milieu qui l'entoure.

Nous analyserons dans un premier temps les documents obtenus par un processus de seuillage automatique selon différents critères en recherchant notamment la permanence des thèmes. Nous envisagerons ensuite les résultats obtenus en appliquant ce nouvel outil aux méthodes supervisées. La comparaison de l'ensemble des documents montrera quels sont les apports et les limites de la méthode proposée.

I. CONCEPTS ET OUTILS

1. Seuillage et radiométrie

Les difficultés rencontrées dans le traitement des données Landsat sur le couvert végétal des régions himalayennes commencent dès l'initialisation des méthodes dites classiques. Comme nous l'avons vu, suivant l'éclairement et la pente, un même thème n'aura sûrement pas la même réponse radiométrique, quel que soit le canal envisagé. Or il est très ardu de décorréler les deux paramètres « pente » et « éclairement » (1) de la radiométrie, même si l'on possède un bon modèle de terrain.

Nous avons donc décidé d'étudier la radiométrie liée à quelques éléments texturaux. D'emblée se posait le problème de la technique de seuillage des données brutes, voire des données transformées par *ratioing*. En effet, seules quelques rares méthodes permettent (2) d'éviter cette étape préliminaire.

Les règles de seuillage les plus fréquemment utilisées telles que le seuillage interactif par visualisation sur écran vidéo d'un canal, ou le seuillage automatique par isolement des courbes unimodales à partir de la distribution des valeurs d'un canal, se révèlent peu satisfaisantes dans notre cas pour les raisons indiquées plus haut.

2. Fréquence locale de la radiométrie

Il nous a donc paru nécessaire d'introduire, dans le processus de seuillage des canaux, des variables sensibles à la répartition spatiale d'une valeur radiométrique donnée qui traduit la répartition spatiale du thème correspondant. Pour cela, nous avons d'abord défini la *fréquence radiométrique locale relative d'une maille carrée* ($m \times m$) ; c'est la fréquence $C(i)$ de la valeur radiométrique majoritaire dans la maille $m \times m$ centrée sur le pixel i .

3. Fréquence moyenne de la radiométrie sur une fenêtre

En partant de cette grandeur, nous avons défini la fonction HISTC (N, n), qui représente la fréquence moyenne d'une radiométrie donnée n à l'intérieur d'une fenêtre $N \times N$.

(1) J. V. DAVE et Ralph BERNSTEIN, 1982.

(2) Par exemple, les nuées dynamiques qui permettent d'agréger directement des variables quantitatives, ou les méthodes de classification des ensembles flous.

$$\text{HISTC (N,n)} = \frac{\sum_{i=1}^{N^2} C(i) \delta_i^n}{m^2 \sum_{i=1}^{N^2} \delta_i^n}$$

où $C(i)$ est la fréquence radiométrique locale du pixel occupant la i ème position lors du balayage en ligne et colonne de la fenêtre $N \times N$ (cf. fig. 2.A).

C'est cette fonction que nous allons seuiller pour chaque canal afin d'initialiser la détermination des thèmes. Les maxima de cette fonction correspondent aux valeurs radiométriques présentes dans la



FIG. 1. — Présentation de la zone d'étude sur imagerie Landsat
Le cadre indique la position de la fig. 3.

fenêtre $N \times N$ et spatialement les plus fréquentes en moyenne dans cette fenêtre. Il est permis de les interpréter, à cette étape, comme signatures des thèmes les plus homogènes en moyenne dans la fenêtre. Les minima indiquent soit des zones de transitions, soit des thèmes hétérogènes, sans aller plus loin dans l'interprétation de ce terme.

4. La technique de seuillage employée

Le seuillage de la fonction HISTC (N, n) séparant maxima et minima ne pouvait se faire en isolant les parties unimodales de cette fonction : ce type de seuillage repose sur des conditions théoriques liées à la distribution statistique d'une variable, or ce n'est pas le cas ici.

Sur un plan plus empirique, si nous pouvons interpréter les maxima et minima de la fonction, nous ne pouvons pas a priori définir l'intervalle d'agrégation des valeurs autour des extrêmes. Par contre, nous savons interpréter l'amplitude des sauts de la fonction entre 2 valeurs adjacentes. Plus l'amplitude de ce saut est grande (c'est-à-dire plus la valeur absolue de la différence entre HISTC (N, n) et HISTC ($N, n+1$) est élevée) plus grande est la différence entre la répartition spatiale des deux radiométries dans la fenêtre. Nous avons donc choisi de seuiller la fonction HISTC (N, n) en fonction du saut en choisissant comme critère de seuillage le saut moyen entre valeurs consécutives relativement à une fenêtre $N \times N$ (cf. fig. 2.D).

5. Fréquence moyenne corrigée par l'écart-type

Dans notre calcul de HISTC (N, n) nous avons privilégié l'occurrence de chaque valeur radiométrique à l'intérieur d'un cadre au détriment de l'environnement spatial et de l'écart entre cette valeur et son environnement. Quelques calculs élémentaires (3) montrent que, pour une valeur radiométrique n ayant une fréquence spatiale donnée, on obtient des valeurs de HISTC (N, n) sensiblement différentes selon que son voisinage immédiat est homogène ou hétérogène. D'autre part, le calcul de HISTC ne prenant pas en compte la proximité radiométrique des voisins géométriques, on n'exploite pas les propriétés de mesure de la variable réponse radiométrique. Pour pallier ces deux inconvénients on a corrigé la notion de fréquence spatiale par celle d'écart-type, qui est un indicateur de proximité radiométrique.

Pour cela nous avons d'abord calculé les écarts-types locaux définis sur chaque pixel, centre d'une maille 3×3 , que nous avons appelés $\sigma(i)$, pour définir ensuite l'écart-type moyen sur une fenêtre $N \times N$, HISTDEV.

$$\text{HISTDEV}(N, n) = \frac{\sum_{i=1}^{N^2} \sigma(i) \delta_n^i}{m^2 \sum_{i=1}^{N^2} \delta_n^i}$$

où m désigne la taille de la maille à partir de laquelle on calcule l'écart-type. La fonction HISV = HISTC - HISTDEV est alors un indicateur, pour chaque valeur radiométrique présente dans la fenêtre, à la fois de sa fréquence spatiale et du degré d'homogénéité des valeurs qui forment son voisinage géométrique (cf. fig. 2.G).

Les maxima de HISV correspondent à des valeurs radiométriques ayant la plus grande fréquence spatiale et entourées géométriquement de valeurs voisines. Les minima, à l'inverse, correspondent à des valeurs plus dispersées et entourées de valeurs radiométriques sensiblement différentes.

Le seuillage de cette fonction s'effectue, pour les raisons évoquées au paragraphe précédent, par l'intermédiaire du critère du saut moyen de la fonction relativement à la fenêtre (4) (cf. fig. 2.H).

II. MÉTHODE NON SUPERVISÉE, PREMIERS RÉSULTATS

1. Remarques préliminaires

a. La fréquence spatiale moyenne (HISTC) de chacune des valeurs de réflectance a été déterminée sur un ensemble de zones témoins dont la taille correspond à une fenêtre de 30×30 pixels. Nous avons expérimentalement constaté que la valeur de la fréquence spatiale d'une valeur radiométrique dessinant une forme compacte dans un milieu hétérogène est 1,5 à 1,8 fois plus forte lorsque cette même forme est placée dans un milieu homogène, la valeur de ce facteur multiplicatif dépendant du nombre de pixels identiques entrant dans cette forme. Ces deux cas de figure correspondant à des conditions extrêmes, nous ne raisonnerons donc ici que sur des valeurs moyennes, sans apporter de corrections en fonction de la nature du milieu ambiant, ce qui peut évidemment parfois introduire des erreurs lors du seuillage dans la mesure où nous considérons que le niveau atteint sur les fonctions de fréquence est à lui seul un facteur discriminant.

(3) Pour cela, il suffit de simuler des voisinages différents pour une même répartition spatiale de la valeur n .

(4) Plusieurs critères ont été testés ; celui du saut moyen nous apparaît, dans le cadre d'une analyse par fenêtre, comme le plus satisfaisant.

Un essai de prise en compte de l'environnement a été fait en calculant l'écart type local et moyen. La combinaison des résultats fournis par cette fonction et celle de la fréquence spatiale (HISV) a conduit à des résultats complémentaires.

b. Trois possibilités de seuillage des fonctions ont été envisagées, chacune d'elles présentant des variantes que nous ne détaillerons pas ici. Dans chacun de ces trois cas, on cherchera à agréger des valeurs radiométriques voisines dans la mesure où celles-ci présentent un niveau comparable de fréquence spatiale moyenne. Dans tous les cas, il s'agira de tester les limites de variabilité de la fonction entre valeurs radiométriques consécutives que l'on peut tolérer pour agréger ces valeurs, celles-ci étant alors assimilées à des variations de réflectance d'un même thème.

On individualisera ainsi au sein d'une même fenêtre, une suite de thèmes se différenciant de leurs voisins par le niveau moyen de la fréquence spatiale enregistrée.

Les deux premiers seuillages effectués par la fonction HISTC reposent sur la notion de saut absolu ; dans le premier cas, on agrège entre elles les valeurs radiométriques voisines si leur différence de fréquence spatiale moyenne n'excède pas 5 % du saut maximum absolu ; dans le second cas, le saut a été fixé à 10 %. Ces deux premières techniques de seuillage sont susceptibles de fournir des résultats corrects lorsque l'on est en présence de séries de continuum de la fonction séparées par des sauts importants par rapport au saut absolu choisi. Pour répondre au problème posé par une faible variabilité d'ensemble de la fréquence spatiale moyenne, nous avons été amenés à définir la notion de saut moyen, critère relatif dépendant de la répartition géométrique des valeurs radiométriques dans chaque fenêtre envisagée. Le seuillage correspondant a été effectué sur la fonction HISTC. Ce type de seuillage a également été effectué sur la fonction HISV. Les fonctions HISTC et HISV ont été calculées à partir des valeurs radiométriques du canal 6 ; de plus on a seuillé l'indice de végétation verte, par la méthode du saut moyen sur la fonction HISTC.

2. Analyse des résultats

a) *Saut absolu.* Le seuillage à 10 % semble insuffisant pour cartographier les versants à l'ombre et certains éléments de paysage situés à la lumière, dans la mesure où ce seuillage agrège trop les valeurs radiométriques, ce qui est d'autant plus sensible dans les zones à l'ombre où l'échelle des valeurs de réflectance est peu importante.

L'application d'un seuillage à 5 % (fig. 2 B et C) entraîne un éclatement généralisé des thèmes, principalement sur les versants situés à la lumière. De plus, dans certains cas, le saut absolu appliqué à des

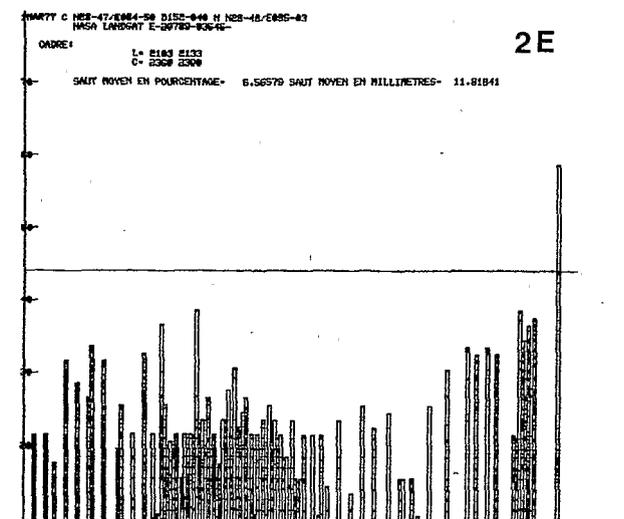
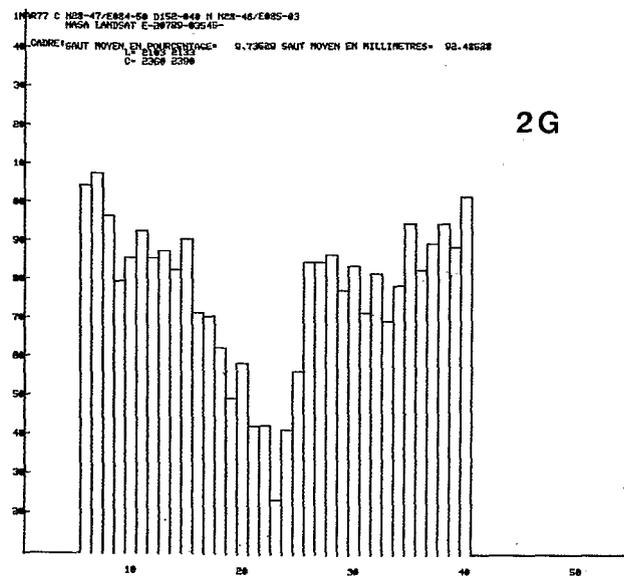
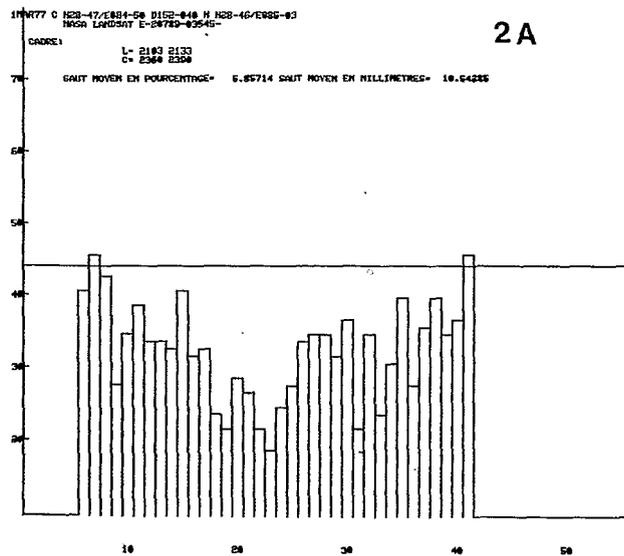


FIG. 2 A, G, E, voir légende p. 301

zones dont la fonction présente une faible variabilité d'ensemble, ne permet pas de dégager des thèmes.

b) *Saut moyen.* Les valeurs moyennes de seuillage sur HISTC (cf. fig. 2D) évoluent généralement selon les zones témoins entre 5 et 10 %. Elles sont inférieures à 5 % lorsque la fonction présente une faible variabilité d'ensemble, ce qui justifie pleinement l'utilisation du saut moyen.

L'utilisation du saut moyen sur HISV (cf. fig. 2H), qui entraîne par rapport à HISTC une diminution du nombre des thèmes, ne modifie en rien les contours des thèmes dominants mais peut faire apparaître des différences au sein de ces thèmes selon les cas à l'ombre ou à la lumière.

La comparaison des résultats fournis par l'application des fonctions HISTC et HISV sur un canal brut montre qu'il existe une bonne concordance des résultats lorsque les thèmes mis en évidence correspondent à de fortes fréquences spatiales moyennes.

En appliquant la méthode du saut moyen sur l'indice de végétation verte (cf. fig. 2.F) on retrouve les limites précédemment définies et on fait apparaître, en fonction de l'étalement de l'échelle des valeurs, un plus grand nombre de thèmes ou de sous-thèmes susceptibles d'apporter des éléments de différenciation supplémentaires au sein des thèmes principaux

3. Conclusions

Cette méthode de seuillage non supervisé n'a pas été encore complètement exploitée, mais elle fournit d'ores et déjà des résultats pertinents lorsque les éléments de paysage correspondent à des thèmes à forte fréquence spatiale moyenne. Ces ensembles représentent des points d'ancrage autour desquels vont s'articuler les autres éléments de paysage. Il reste à mieux cerner les zones de transition et la nature de l'environnement. L'utilisation de l'écart type entre dans cette problématique et celle d'autres critères, tels que le coefficient de variation, fait à présent l'objet de nos recherches.

III. UTILISATION DES DONNÉES MULTISPECTRALES ET MULTITEMPORELLES ET DES NOUVEAUX INDICES DE TEXTURE DANS UNE ANALYSE SUPERVISÉE

La problématique de la recherche actuelle a été posée à partir des résultats d'une cartographie supervisée de cette région utilisant l'analyse multispectrale. Les canaux 5 et 7 avaient été utilisés selon

la méthode dite « loterie » (seuillage dans chacun des canaux, croisement de ces seuillages puis regroupement des « lots » ainsi obtenus en fonction de la connaissance de la vérité de terrain). Cette cartographie avait permis de constater que, à l'intérieur d'une même tranche altitudinale et dans des conditions d'éclairement comparables, le seuillage élaboré pour une zone témoin restreinte était extrapolable à l'ensemble de la région ; de même, la méthode suivie permettait de résoudre les problèmes posés par l'identité des réponses radiométriques de thèmes différents dans des conditions d'éclairement différentes (par exemple les forêts denses sur des versants éclairés et des champs de blé sur des versants à l'ombre). Mais il n'avait pas été possible de différencier des thèmes différents, dans des conditions d'éclairement comparables mais à des altitudes différentes (par exemple, les champs de blé au-dessous de 2 200 m et les prairies d'altitude au-dessus de 4 000 m), ni de cartographier convenablement les portions de versant où l'éclairage est rasant.

La démarche actuelle est d'utiliser les résultats des traitements numériques, effectués en vue d'une cartographie non supervisée, dans une classification supervisée pour tester ces résultats et pour orienter les recherches. La méthode suivie est de rechercher le meilleur support (canaux, combinaisons multispectrales et multitemporelles), puis d'utiliser les nouveaux outils (fréquence, variance, fréquence corrigée par l'écart-type) pour tester et affiner les seuillages établis sur ces supports.

1. Les supports

a) *Les indices de végétation.* — Le seuillage supervisé d'une image de l'indice de végétation verte (cf. fig. 3, h. t. couleur) permet une identification satisfaisante des thèmes et une bonne séparation des forêts de densités différentes, des différentes cultures et des forêts et espaces non-forestiers pour un même éclairage. Mais le traitement « indice de végétation » ne permet pas de résoudre les problèmes relatifs à l'exposition.

b) *L'analyse multitemporelle.* — En région de montagne, l'analyse multitemporelle se heurte aux problèmes posés par la non-coïncidence des ombres et des lumières à des dates différentes ; ces problèmes sont surtout sensibles sur les lignes de crête (élévation du soleil), dans les fonds de vallée (différentes ombres portées), et sur les versants exposés au sud-sud-ouest (à cause du petit nombre d'images exploitables — deux sur l'ensemble de la période Landsat — il n'a pas été possible d'obtenir des images à des dates symétriques par rapport au solstice d'hiver). De plus, les images utilisées sont l'une d'une année paire (3 déc. 1972), l'autre d'une année impaire (21 mars 1977) ; or il existe des

rotations biennales dans la région qui nous occupe : on ne retrouve donc pas les mêmes cultures aux mêmes endroits d'une image à l'autre. Cet inconvénient, pour rédhibitoire qu'il soit dans la cartographie actuelle, ne saurait cependant priver la méthode de son efficacité en général. Quant aux différences entre les éclaircissements, il est apparu au cours des traitements qu'elles ne portaient que sur de petites surfaces et qu'elles pouvaient être compensées.

L'analyse multitemporelle permet d'établir des distinctions satisfaisantes entre différents types de forêts (forêts sempervirentes et forêts caducifoliées) et entre différentes cultures (maïs et blé) dans les secteurs de rotations annuelles.

c) *L'analyse multitemporelle-multispectrale.* — Les résultats les plus satisfaisants ont été obtenus lorsqu'on a comparé et combiné par « loterie » les indices de végétation obtenus aux deux dates. Ce traitement permet d'obtenir une très bonne identification des thèmes, même pour des tranches altitudinales différentes. De plus, il est possible d'obtenir une certaine homogénéisation des thèmes, qui permet une cartographie claire ; ce qu'on ne pouvait obtenir dans les traitements précédents à cause de confusions persistantes dans les zones de transition entre les différentes unités de paysage. Les problèmes subsistent cependant dans des conditions d'éclaircissement particulières (orientation au nord, lumière rasante).

2. Les outils

L'utilisation de la fréquence permet d'introduire dans les traitements la dispersion des valeurs des réponses radiométriques propre à chaque thème, pour lever des ambiguïtés des seuillages : ainsi, les pâturages d'altitude sont les thèmes dont la dispersion des valeurs est la plus forte. Faire entrer cette notion dans une « loterie » avec l'un quelconque des supports décrits ci-dessus permet de lever l'ambiguïté due à la similitude des réponses spectrales de ces pâturages et des champs de blé, par exemple.

Cette notion permet également de tracer des frontières extrêmement précises entre les différentes plages d'éclaircissement. Elle est cependant beaucoup moins précise quand il s'agit d'établir les limites entre les différents thèmes d'une même plage d'éclaircissement. Ce problème particulier pourrait être en partie résolu par l'étude d'images prises vers l'époque du solstice d'été mais la couverture nuageuse très importante pendant la mousson (de mai à octobre) ne permet pas d'obtenir des images satisfaisantes présentant un éclaircissement moins rasant. On peut espérer que l'imagerie Spot, en raison de l'heure plus tardive des prises de vue, diminuera les problèmes posés par l'exposition.

CONCLUSION

L'ensemble des traitements déjà effectués sur la base du seuillage non supervisé de la fréquence spatiale moyenne permet d'isoler des thèmes caractérisés par une forte valeur de cette fréquence, que ces thèmes soient à l'ombre ou à la lumière. L'outil développé en vue d'un seuillage non supervisé a eu des prolongements dans le cadre de l'étude supervisée, permettant de préciser certains thèmes en analyse visuelle, notamment au niveau de l'utilisation de l'indice de végétation verte multitemporelle.

Mais, en l'état actuel de la recherche, la méthode non supervisée ne permet pas de différencier systématiquement toutes les unités de paysage avec précision. Cette différenciation semble passer par la prise en considération des données multispectrales, voire multitemporelles, dans la méthode non supervisée.

Par ailleurs, l'introduction des données topographiques est en cours ; elle permettra dans un premier temps de différencier des thèmes de valeurs radiométriques comparables situés dans des tranches altitudinales différentes ; elle devrait permettre également de définir un modèle d'enseillement instantané de la région à l'heure solaire locale de la prise de vue, ce modèle devant déboucher sur une identification des thèmes dans toutes les conditions d'éclaircissement.

De plus, que ce soit sur une analyse monocanale ou sur une analyse multicanale, la maîtrise de l'environnement des thèmes amorcés dans cette note sera poursuivie par l'utilisation d'autres paramètres de texture, tels que le coefficient de variation.

Enfin, l'obtention d'une carte d'occupation des sols par une méthode d'analyse non supervisée passera par l'exploitation de paramètres tels que la définition correcte de la taille de la fenêtre entrant dans la grille de traitement qui couvre l'ensemble de la région.

RÉFÉRENCES

- BLAMONT (D), 1982, « Cartographie de la végétation et de l'occupation des sols au Népal Central à partir d'images Landsat acquises en mars 1977 ». Toulouse, 4^e Colloque International du GDTA, 1981, p. 222-229.
- DAVE (J.V.), BERNSTEIN (R.), 1982, « Effect of terrain orientation and Solar position on satellite level luminance observations ». *Remote Sensing of Environment*, vol. 12, n° 4, p. 331-347.
- DOBREMEZ (J.F.), MAIRE (A.), ION (B.), 1975, « Carte écologique du Népal 5. Région Aukhu-Khola-Trisouli, 1/50 000 » *Documents de cartographie écologique*. Grenoble, n° 15, p. 1-20.

- FLOUZAT (G.), 1982, « Modélisation de la compréhension visuelle des images en télédétection : essai de simulation numérique de la photo-interprétation analytique ». Toulouse, 1982, *Symposium international, Commission VII SIPT*, n° 24, p. 7-24.
- HOLBEIN (B.N.), JUSTICE (C.O.), 1980, « The topographic effect on spectral response from Nadir-Pointing Sensors ». *Photogram. Eng. and Remote Sensing*, vol. 46, n° 6, p. 1191-1199.
- JEANSOULIN (R.), 1982, *Les images multisources en télédétection*. Thèse Doc. ès Sciences. Toulouse, Université Paul Sabatier, 127 p.
- JUSTICE (C.O.), WHARTON (S.W.), HOLBEIN (B.N.), 1981, « Application of digital terrain data to quantify and reduce the topographic effect on Landsat data ». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 2, n° 3, p. 213-230.
- MAUER (E.), SCHARE (R.), 1982, « Picture classification and segmentation by feature combination in multispectral data ». Toulouse, 1982, *Symposium International, Commission VII SIPT*, vol. 24, p. 35-43.
- ORSTOM, 1978, *Analyse multivariable. Procédure « Loterie »*. Application à l'analyse multispectrale en télédétection. Init. Doc. Tech., ORSTOM, Télédétection, vol. 39, n° 2, 78 p.
- WYART (J.), 1983, « Carte des unités écologiques du versant de Salmé (Népal Central) à 1/25 000 », in *Écosystème villageois traditionnel en Himalaya népalais : la production forestière suffit-elle aux besoins de la population ?* Grenoble, Univ. Sci. et médicale, 267 p.
-

L'Espace Géographique, n° 3, 1984, 225-232, 301-302.
 Doin, 8, place de l'Odéon, Paris-VI^e.

BLAMONT (Denis) *et al.* *Essai de classification des unités de paysage en région montagneuse.*

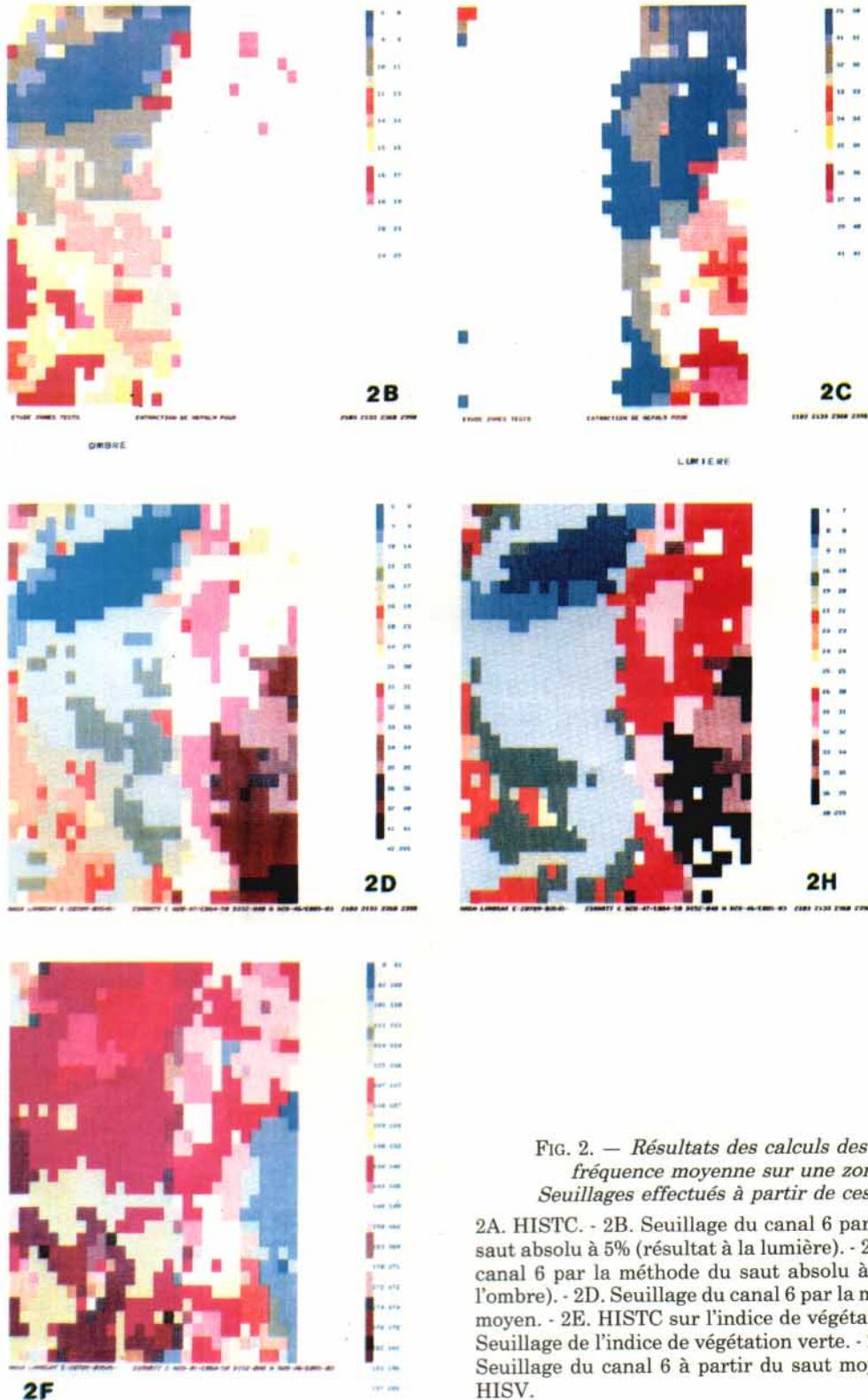


FIG. 2. — Résultats des calculs des fonctions fréquence moyenne sur une zone test
 Seuillages effectués à partir de ces résultats

2A. HISTC. - 2B. Seuillage du canal 6 par la méthode du saut absolu à 5% (résultat à l'ombre). - 2C. Seuillage du canal 6 par la méthode du saut absolu à 5% (résultat à la lumière). - 2D. Seuillage du canal 6 par la méthode du saut moyen. - 2E. HISTC sur l'indice de végétation verte. - 2F. Seuillage de l'indice de végétation verte. - 2G. HISV. - 2H. Seuillage du canal 6 à partir du saut moyen calculé sur HISV.

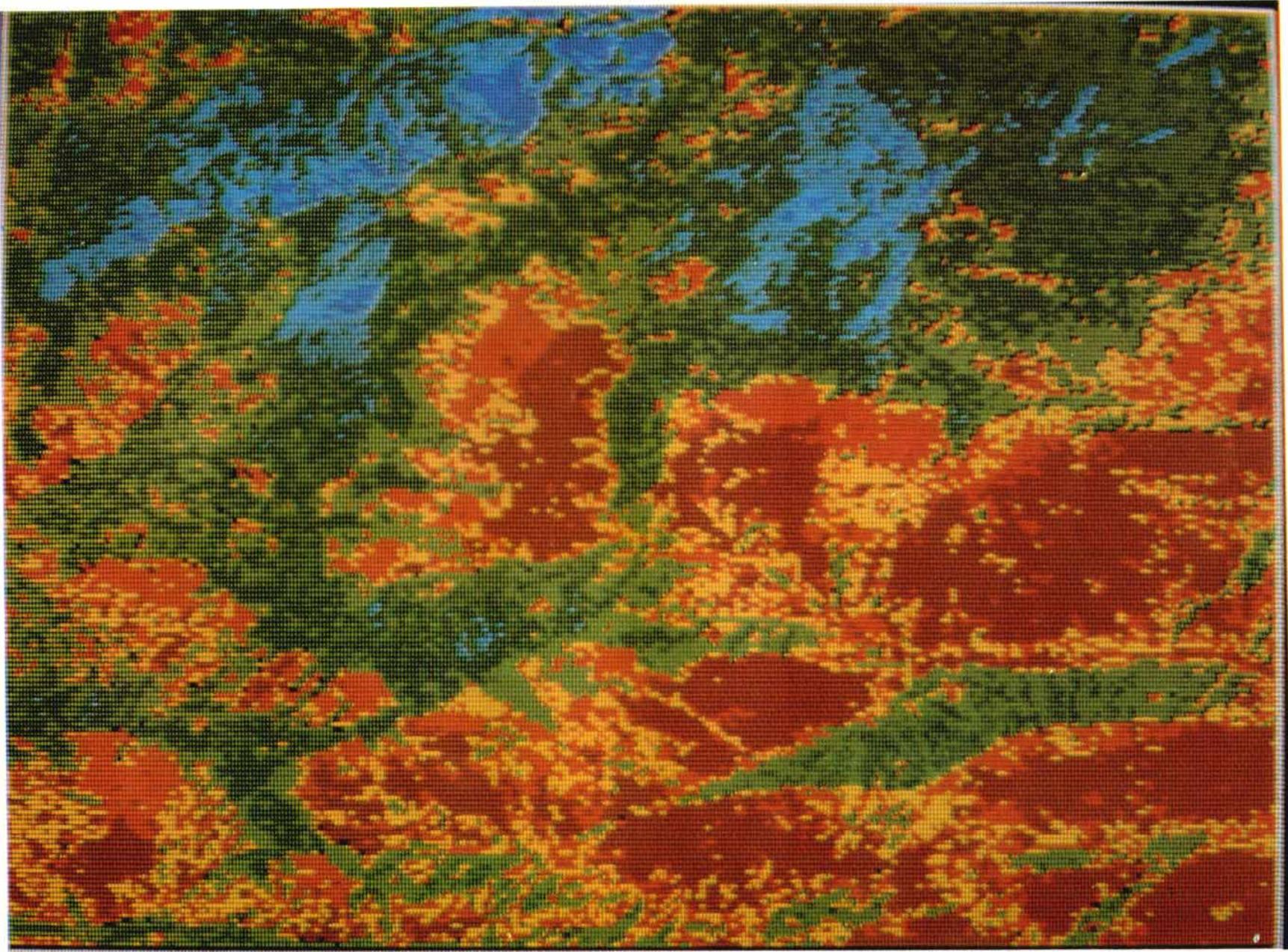


FIG. 3. — *Combinaison multitemporelle (déc. 72/mars 77) sur l'indice de végétation verte.* Le cadre indique la position de la fig. 2.