



AIDE AUTOMATIQUE A LA COMPREHENSION DES IMAGES EN TELEDETECTION :
MODELISATION DES CARACTERES MORPHOLOGIQUES DE LA TEXTURE
COMPUTER AIDED UNDERSTANDING OF REMOTE SENSING IMAGERY :
MODELING OF TEXTURE MORPHOLOGICAL FEATURES

G. FLOUZAT⁽¹⁾, J. SERRA⁽²⁾, Y. MERGHOUB⁽¹⁾

(1) C.E.S.R. - C.N.R.S. Université Paul Sabatier - 9, Avenue Colonel Roche, 31029 TOULOUSE CEDEX

(2) Centre de Géostatistique et de Morphologie Mathématique, 35, rue St-Honoré, 77305 FONTAINEBLEAU

RESUME

Ce papier montre comment l'interprétation manuelle des images peut être formulée par la photointerprétation analytique. L'intérêt de cette démarche est d'indiquer l'approche que doivent respecter les modèles de vision assistée par ordinateur pour contribuer à une compréhension spécialisée. Deux exemples de modèles sont décrits : le premier simule le processus d'agglomération visuelle qui permet d'identifier des villages sur une partie d'image Landsat (extraction des objets flous après agglomération et filtrage par la taille) ; le second représente la relation d'organisation qui permet de reconnaître un déboisement par le contexte environnant (discrimination d'un objet par détection d'une longueur de voisinage significative entre entités connexes). Les opérateurs utilisés dans les séquences de ces méthodes proviennent principalement de la morphologie mathématique.

SUMMARY

This paper describes how the visual interpretation of imagery can be formulated by analytical photointerpretation. The interest of this approach is to show the reasoning that the computer vision models must follow in order to contribute to a specific understanding. Two examples of models are given : the first one simulates the visual aggregation process which allows the identification of villages on a part of a Landsat scene (extraction of fuzzy objects after aggregation and size filtering of particles subsets) ; the second one presents the structure analysis which allows to recognize a deforestation by its natural context (discrimination of a particular object by detection of a significant neighbouring length between connected components). The algorithms in these models are mainly those of mathematical morphology.



AIDE AUTOMATIQUE A LA COMPREHENSION DES IMAGES EN TELEDETECTION

COMPUTER AIDED UNDERSTANDING OF REMOTE SENSING IMAGERY

G. FLOUZAT, J. SERRA, Y. MERGHOUB

L'interprétation des images, et en particulier celles d'observation de la Terre, repose sur une compréhension visuelle qui fait appel à de nombreux mécanismes souvent implicites. Ainsi, la complexité de ces images rend insuffisantes les méthodes actuelles d'exploitation numérique. En outre, les techniques développées nécessitent encore trop fréquemment une validation a posteriori des résultats obtenus.

Il est suggéré ici de simuler le comportement d'un interprète spécialisé pour lequel l'utilisation des images repose sur sa faculté de maîtriser l'analyse et la compréhension de textures et de structures complexes.

I - PHOTOINTERPRETATION ANALYTIQUE ET SYNTAXE DE LA LECTURE DES IMAGES

Parmi les nombreux travaux de photointerprétation, peu de résultats concernent la généralisation d'une méthodologie logique. Une première formalisation, reconnue sous le terme de photointerprétation analytique, a été donnée par GUY (1970) et fait appel à 3 notions précisées par FLOUZAT (1977, 1982) : les caractères descriptifs, les éléments texturaux et les relations d'organisation.

I-1 PHOTOINTERPRETATION ANALYTIQUE

I-1.1. Caractères descriptifs

Deux types de caractères descriptifs sont utilisés en photointerprétation analytique : les caractères spectraux et les caractères texturaux.

Les caractères spectraux sont ceux qui décrivent les objets par une grandeur physique de l'électromagnétisme : la réflectance dans le visible et le proche infra-rouge, la température apparente dans l'infra-rouge moyen et la rétrodiffusion en micro-ondes (mode actif).

Les caractères texturaux sont ceux qui décrivent les objets par la variabilité spatiale des grandeurs physiques ou de leurs valeurs dérivées. Deux familles de caractères texturaux sont généralement distinguées : les caractères statistiques (ou probabilistes) résultent d'un échantillonnage du paysage par le détecteur à une résolution faible et indiquent l'homogénéité ou l'hétérogénéité ; les caractères géométriques (ou morphologiques) résultent d'un échan-

tillonnage du paysage par le détecteur qui permet de mettre les formes des objets en évidence (GUICHOU, 1984).

I.1.2. Eléments texturaux

Les éléments texturaux sont des entités connexes d'images définies par un seul caractère ou une seule combinaison de caractères : leur définition relève d'un couple (caractère, partie d'image). Une classe d'objets est donc l'ensemble des parties connexes d'un ensemble donné.

La réduction d'une image aux éléments texturaux est la première partie de l'analyse en photointerprétation analytique. La seconde partie est la mesure de paramètres sur les composantes connexes.

I.1.3. Relations d'organisation

Les éléments texturaux ont une disposition dans l'espace-image qui entraîne des organisations particulières. L'étude des relations d'organisation entre éléments texturaux conduit à la compréhension de l'image, c'est-à-dire l'interprétation proprement dite.

I-2 SYNTAXE DE LA LECTURE DES IMAGES

La méthode de photointerprétation analytique constitue un guide intéressant pour le traitement numérique puisque sa démarche déterministe (validée a priori) indique l'arrangement des successions d'opérations nécessaires à l'exploitation d'une image dans un but donné.

L'aide automatique à la compréhension des images réside donc dans un traitement séquentiel simulant l'enchaînement caractères descriptifs - éléments texturaux - relations d'organisation. (FLOUZAT, 1983-a).

La modélisation des caractères descriptifs est faite par des opérateurs d'extraction d'attributs de deux types. Les premiers sont des modèles d'homogénéité et d'hétérogénéité pour les caractères statistiques. Ils peuvent s'appliquer à des variables numériques ou à des variables d'état. Les seconds sont des modèles de connexion ou d'agglomération de sous-objets pour les caractères géométriques. Une application de ce type de modèles constitue le premier exemple d'aide automatique à la compréhension décrit dans ce papier. Elle met en jeu principalement des primitives de morphologie mathématique. (SERRA, 1982).

La construction des éléments texturaux est modélisée par des méthodes de segmentation. La plupart des opérateurs actuellement utilisés identifient les entités connexes par leurs masques. Cette représentation est souvent améliorée grâce à l'association de méthodes géométriques d'optimisation de la convexité avec le seuillage sur les fonctions d'extraction d'attributs (GUICHOU, 1984). La caractérisation des composantes connexes se compose de deux familles de mesures : paramètres de masques (taille, forme, orientation,...) et paramètres de composition (homogénéité, hétérogénéité, compacité,...).

La modélisation des relations d'organisation entre éléments texturaux peut se faire par des représentations symboliques en arbres ou en graphes. Cependant cette schématisation de la connaissance des structures d'une image est encore peu employée. Par contre, les mesures globales (distribution, voisinages, inclusion, formes de contact,...) nécessaires à leur élaboration sont exploitées directement. Ainsi, c'est la notion de longueur de contact qui fournit une règle d'interprétation des éléments texturaux dans le second exemple décrit dans ce papier.

Les lois de la photointerprétation analytique et ces possibilités de simulation numérique impliquent donc une syntaxe interdisant ou rendant obligatoires certaines successions d'opérations.

II - EXTRACTION D'OBJETS DISCONTINUS PAR AGGLOMERATION ET FILTRAGE PAR LA TAILLE

Le problème posé (FLOUZAT, 1983-b) est l'identification des villages (figure 1) sur une partie d'image classée (1) en forêts, objets minéraux, surfaces en eau et surface agricole utile (figure 2). Dans les conditions de l'expérience (paysage agricole, scène Landsat 2), il existe plusieurs types d'objets minéraux identifiés par leurs caractères spectraux (FLOUZAT, 1978 ; DENARDOU, 1980). Ce sont les villes, les villages, les champs (en sols nus), les chantiers, les carrières et les déboisements (figure 3) qui forment l'ensemble U.

$$(1) \quad I_C = \{p \in C\} \text{ tq } p = p_i$$

et $C = \{c_1, \dots, c_i, \dots, c_n\}$

avec p_i : pixels de la classe i

n : nombre de classes de l'image I_C
 ($n = 4$ dans le cas présent)

$$(2) \quad U = \{p \in C\} \text{ tq } p = p_u$$

avec p_u : pixels de la classe "objets minéraux".

Une première conséquence sur la syntaxe des traitements est l'impossibilité d'utiliser des opérateurs arithmétiques puisque l'image est en variables d'état. Ce sont donc des fonctions ensemblistes qui sont appliquées, ce qui correspond précisément à la démarche de la photointerprétation analytique.

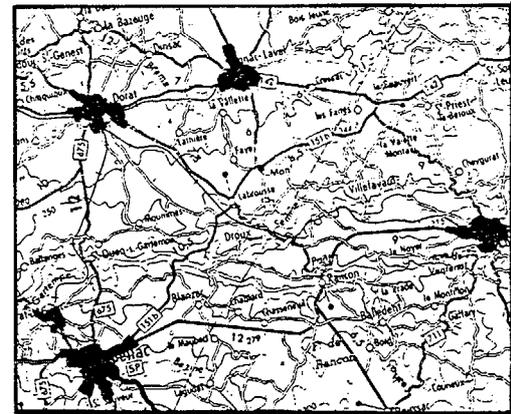


Figure 1 : Carte des villages recherchés

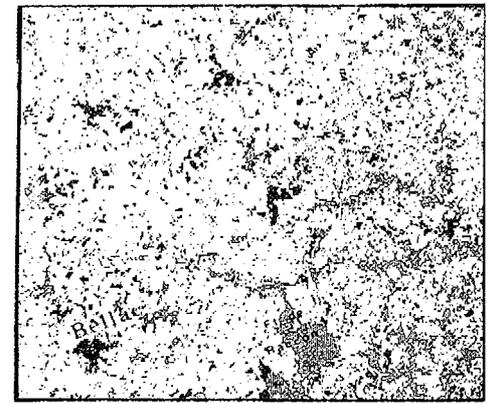


Figure 2 : Partie de l'image classée

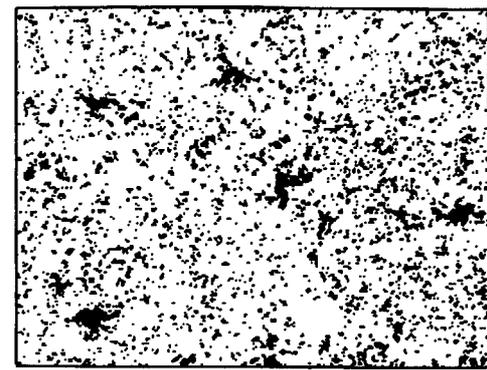


Figure 3 : Ensemble "objets minéraux"



Visuellement, les villages sont identifiés dans la figure 3 par la proximité de parties de l'ensemble U donnant des objets discontinus en "étoile" (les directions des branches de ces "formes floues" sont données par les axes routiers convergents vers les villages). De plus, les dimensions de ces formes sont supérieures à celles des autres objets.

La construction de l'enveloppe implicitement interprétée dans cette reconnaissance par une réunion fictive de parties de l'ensemble U est obtenue par la fermeture (3) de cet ensemble par un élément structurant B :

$$(3) \quad U^B = (U \oplus B) \ominus B$$

Le résultat de cette phase d'agglomération est présenté en figure 4.

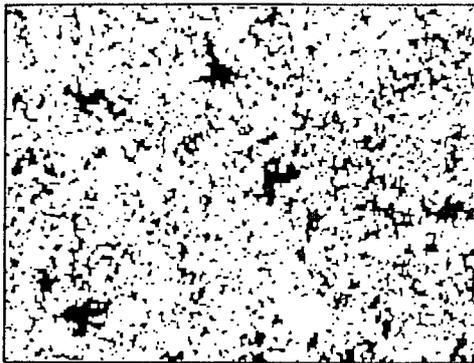


Figure 4 : Résultat de la fermeture de l'ensemble U

La caractérisation définitive des villages nécessite ensuite de déterminer les objets dont la taille est supérieure au seuil significatif. Pour cela, les petits objets (ensemble U_2) sont éliminés par un nombre m d'érosions successives (4). Le nombre total m_2 d'itérations de l'érosion est déterminé pour que son application à l'élément structurant b élimine la plus grande parcelle agricole possible dans cette région sans atteindre le plus petit village. Cette détermination non absolue simule parfaitement les processus adaptatifs de la photointerprétation. Les marqueurs obtenus (ensemble v) matérialisent ce filtrage par la taille (5). La mise en évidence des grandes entités connexes enveloppant les villages (ensemble V) est réalisée par dilatation séquentielle conditionnée par l'ensemble U^B (6).

Cette phase d'extraction des composantes connexes correspondant aux éléments texturaux des

villages résulte donc de la séquence suivante ordonnée selon le raisonnement de l'interprétation :

$$(4) \quad U_2 = U^B \ominus (U^B \ominus mb)$$

$$(5) \quad v = (U^B \ominus m_2 b)$$

$$(6) \quad V = (v \oplus m_3 b) \cap U^B$$

La figure 5 montre les six composantes connexes obtenues dont cinq seulement sont des villages indiqués en figure 1.

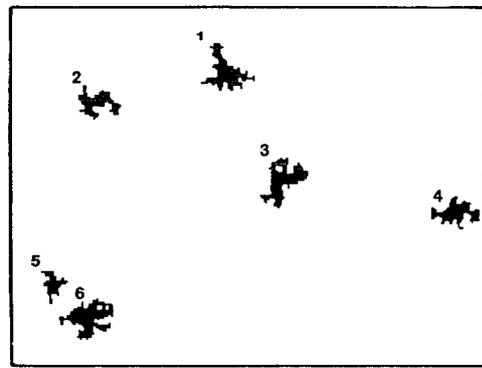


Figure 5 : Composantes connexes de l'ensemble V

En effet, l'entité n° 3 est une mauvaise identification. Pour corriger cette erreur, il faut prendre en compte la totalité de la définition visuelle. La forme en "étoile" entraîne une compacité toujours faible des éléments texturaux de villages. On propose de mesurer une compacité morphologique (IC) des 6 objets avec :

$$IC = \frac{N_{U_0}}{N_{U_f}}$$

où : N_{U_0} est le nombre de pixels de la classe u appartenant à l'objet dans l'ensemble ouvert U_B

N_{U_f} est le nombre de pixels de la classe u appartenant à l'objet dans l'ensemble fermé U^B .

Pour les 6 entités de la figure 5, les mesures de compacité sont données ci-dessous :

Entités	1	2	3	4	5	6
IC	0,31	0,39	0,62	0,32	0,12	0,36

Seul, l'objet n° 3 a une compacité élevée qui ne peut provenir d'un village (En fait, il s'agit d'une grande exploitation agricole totalement labourée au moment de la prise de vue par le satellite). Ce paramètre permet donc de ne conserver que les masques des villages dans l'ensemble U^B (figure 6).



AIDE AUTOMATIQUE A LA COMPREHENSION DES IMAGES EN TELEDETECTION
COMPUTER AIDED UNDERSTANDING OF REMOTE SENSING IMAGERY
G. FLOUZAT, J. SERRA, Y. MERGHOUB



Figure 6 : Extraction des villages

Dans cette analyse, le séquencement des opérateurs par la photointerprétation analytique donne donc un exemple de modèle valable a priori pour l'extraction d'entités connexes ayant des caractéristiques de taille et de forme particulières.

III - DISCRIMINATION D'UN OBJET PAR ANALYSE DES VOISINAGES ENTRE ENTITES CONNEXES

Le but recherché est de discriminer les déboisements sur une image de départ (figure 7) du même type que celle de la figure 2.

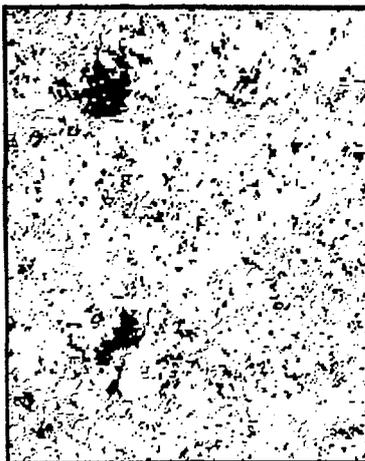


Figure 7 : Partie n°2 de l'image classée

L'identification doit être faite parmi les composantes connexes extraites par une séquence d'opérations morphologiques (figure 8) identique à celle de l'exemple précédent (7) à (10) :

Fermeture de l'ensemble des parties de l'ensemble U :

$$(7) \quad U^B = (U \oplus B) \ominus B$$

Erosion jusqu'à obtention des marqueurs :

$$(8) \quad v = (U^B \ominus m_4 b)$$

Dilatation conditionnée :

$$(9) \quad V = (v \oplus m_5 b) \cap U^B$$

Mesure de la compacité des entités obtenues :

$$(10) \quad IC_1 = 0,36 ; IC_2 = 0,10 ; IC_3 = 0,63.$$

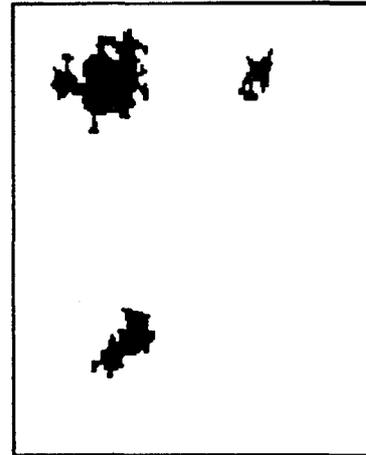


Figure 8 : Composantes connexes extraites de l'ensemble V

L'entité n° 3 est trop compacte pour être un milieu urbain. Cependant, parmi les objets minéraux, des ambiguïtés peuvent subsister entre déboisements et parcelles agricoles de grande taille. A ce stade, le raisonnement utilisé par l'interprète fait appel à une relation d'organisation entre éléments texturaux : les déboisements sont des objets minéraux connexes qui ont une grande longueur de voisinage avec des parties de l'ensemble forêt (puisqu'ils appartiennent à cet ensemble avant la coupe).

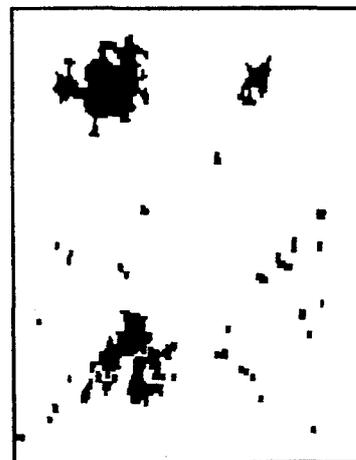


Figure 9 : Ensembles F_B et V

Cette relation est modélisée en 2 temps. Le premier temps (figure 9) est l'ouverture de l'ensemble forêt (F) : cela évite que des pixels isolés de forêt



(petits bois, parcs,...) perturbent la phase suivante puisque les petites longueurs de contact forêt-objet minéral sont éliminées (11).



Figure 10 : Dilaté de F_B dans V

Le second temps est la dilatation séquentielle conditionnée (12) de l'ensemble F_B obtenu dans l'ensemble V (figure 10).

$$(11) \quad F_B = (F \oplus B) \oplus B$$

$$(12) \quad F_2 = (F_B \oplus B) \cap V$$

Le déboisement est identifié par l'intersection $F_2 \cap V$ (figure 11).

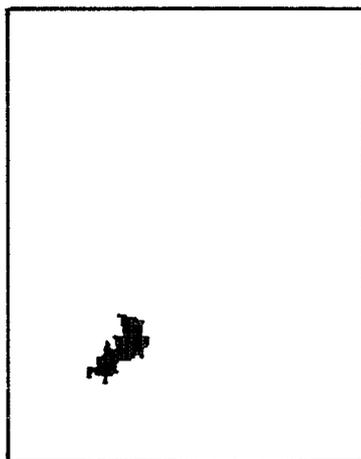


Figure 11 : Déboisement identifié

Le modèle d'aide à l'interprétation représenté par cette seconde séquence d'opérateurs morphologiques montre la possibilité de prendre en compte l'organisation de l'image pour reconnaître certains objets.

IV - CONCLUSION

L'approche proposée comme aide automatique à la compréhension des images ne prétend pas donner des méthodes automatiques capables de toujours détecter un même phénomène. Une telle affirmation ne serait pas fondée devant la complexité et la diversité du milieu naturel.

Par contre, cette approche inqieu des types de procédures adaptées à des phases de raisonnement dont on ne peut envisager de modéliser la totalité.

Enfin, il apparait clairement que la démarche ensembliste de la photointerprétation analytique est souvent bien représentée par les méthodes de la morphologie mathématique. Ainsi, la possibilité de quantification et des règles de syntaxe peuvent permettre des opérations d'interprétation plus objectives.

REFERENCES

- DENARDOU (J.P.), FLOUZAT (G.), VAUZELLE (M.), 1980 - Cartographie et statistique de l'occupation des terres de la Haute-Vienne par télédétection spatiale. Cahiers Stat. Agric. Méthodes et Applications Scientifiques - SCEES - n° 2 - mars 1980 - Paris.
- FLOUZAT (G.), 1977 - Une méthode d'aide automatique à la stratification des images de télédétection - Rapport CESR n° 77-735 - Juillet 1977 - Toulouse.
- FLOUZAT (G.), 1978 - Projet Limousin - C.R. expérimentation O.P.I.T. - Rapport CESR n° 78-828 bis - Juillet 1978 - Toulouse.
- FLOUZAT (G.), 1982 - Modélisation de la compréhension visuelle des images de télédétection : essai de simulation numérique de la photointerprétation analytique - Comm. Symp. ISPRS - Sept. 1982 - Toulouse.
- FLOUZAT (G.), 1983-a - Théorie de l'interprétation des images de télédétection - Rapport CESR n° 83-1095 - Déc. 1983 - Toulouse.
- FLOUZAT (G.), 1983-b - Recherche de fonctions texturantes. Application au zonage écographique et à la cartographie de l'occupation des terres d'un bassin versant. C.R. expérimentation ATP Télédétection CNRS - Rapport CESR n° 83-1029 - Sept. 1983 - Toulouse.
- GUICHOU (G.), 1984 - Analyse d'images de télédétection: traitements séquentiels d'informations texturales et contextuelles. Thèse 3ème Cycle - Université Paul Sabatier - Janvier 1984 - Toulouse.
- GUY (M.), 1970 - Traitement des images et méthodes d'exploitation. Geoforum - n° 3 - pp. 47-62 - 1970.
- SERRA (J.), 1982 - Image analysis and mathematical morphology - 1 vol. Acad. Press - New-York.