

# TAXONOMIE ET TÉLÉDÉTECTION : LA PERSISTANCE DES NOMS LORS DES CHANGEMENTS DE RÉOLUTION

Denis BLAMONT, Marcel RAFFY

LSIIT/GRTS - ENSPS

Illkirch

## **Résumé**

*Les règles régissant les rapports entre nomenclature radiométrique et changement de résolution sont exposées ainsi qu'une méthode d'élaboration d'une taxonomie basse résolution à partir d'une nomenclature haute résolution. Un exemple de cartographie d'une région himalayenne à partir d'images de résolutions différentes illustre cet exposé.*

## **Abstract**

*The rules governing the relations between radiometric nomenclature and change of resolution, and a procedure allowing the elaboration of a low resolution nomenclature are exposed. These points are illustrated by the mapping of an Himalayan region from images at various resolutions.*

## **Mots-Clés**

*Nomenclature, radiométrie, résolution, télédétection, Mustang, Népal*

## **Key-Words**

*Nomenclature, radiometry, remote sensing, resolution, Mustang, Népal*

Les taxonomies utilisées pour la classification des images satellitales sont généralement élaborées à partir de connaissances thématiques et de données produites à une résolution plus fine, telles que, par exemple, des mesures de terrain, une carte préexistante, une photographie aérienne ou encore une autre image satellitale. Ce faisant, on ne tient jamais compte des règles physiques précises régissant le passage d'une image à haute résolution à une image à résolution plus basse, c'est-à-dire le passage d'une mesure considérée comme ponctuelle à une mesure qui est une moyenne d'autres mesures. Après les avoir exposées, nous montrons ici quelles règles induisent, à leur tour, ces règles physiques pour le passage d'une nomenclature à l'autre.

Notre démarche repose sur la distinction entre nomenclature géométrique et nomenclature radiométrique. C'est cette dernière que nous développerons ici, en ne considérant donc que les connaissances qu'on peut tirer de la radiométrie sans utiliser les informations liées à la taille des objets thématiques et à la structure ou à la texture de l'image. Les résultats sont illustrés par les cartes tirées d'images satellitales de résolutions différentes d'une partie du Mustang, région du Népal Central située au nord des Annapurna.

## **1. L'établissement d'une nomenclature à résolution fine**

Toute carte thématique est une représentation de la réalité dont on a choisi de ne retenir qu'une certaine catégorie d'objets. Dans le cas de la télédétection, le processus de la cartographie n'est pas seulement une

représentation, mais également une production de connaissances: à partir d'une connaissance incomplète d'une région, le thématicien s'efforce de donner un nom aux mesures contenues dans l'image de cette région, qu'il regroupe dans des ensembles cohérents, qui doivent eux-mêmes former une taxonomie cohérente et logique, représentant sa perception de la région cartographiée [1]. L'élaboration d'une taxonomie doit donc obéir à deux types de contraintes: la cohérence thématique et l'organisation exhaustive des mesures dans le domaine radiométrique considéré.

### 1.1. Partition du domaine radiométrique

Dans le cadre d'une étude des pâturages et des superficies cultivées du Mustang<sup>1</sup>, le travail de terrain et une analyse d'une portion d'image SPOT XI (fig. 1) nous ont permis d'établir la partition du domaine radiométrique (fig. 2 et 8) et une carte (fig. 3). Celle-ci comporte douze taxons dont quatre sont clairement définis: deux types de champs, des pâturages et des sols nus; les taxons restants représentent des espaces dont la couverture végétale devient de plus en plus dense au fur et à mesure que l'on se dirige vers les hauteurs, où se trouvent les pâturages. Les limites entre certains taxons ont été établies plus sur des critères statistiques que sur une réalité tangible; en effet, il s'agit d'objets aux limites floues: la catégorie "sols nus", par exemple, englobe des territoires couverts de manière plus ou moins dense de buissons (essentiellement *Caragana* et *Ephedra*) et c'est de manière quelque peu arbitraire que trois catégories ont été distinguées: on aurait pu tout aussi bien en distinguer cinq ou même six. Il en va de même pour les prairies entre lesquelles les transitions sont lentes, à la résolution considérée. Par ailleurs, des classes "tampons" ont été distinguées entre, d'une part, les sols nus et les prairies et, d'autre part, les prairies et les sols cultivés (les maisons, couvertes par des toits, en terrasse, apparaissent dans une de ces catégories et ne sont distinguables que grâce à la situation des villages au milieu des territoires cultivés). Les noms des classes sont donc à prendre avec précaution et désignent plutôt des gradations. Néanmoins, à toute mesure ne correspond qu'un nom.

### 1.2. Règles auxquelles une nomenclature doit obéir

L'établissement d'une nomenclature pour la classification d'une image de télédétection, c'est-à-dire la partition de son domaine radiométrique, à partir de mesures de même résolution que celle de l'image, doit obéir à des règles naturelles et peu exigeantes. La première est celle de la non-ambiguïté: un pixel ne peut être à la fois deux objets distincts. La deuxième est que tout pixel doit être classé (i.e. avoir un nom, ou une couleur). Ces conditions peuvent s'exprimer comme suit.

Soit un ensemble  $\Omega$  de pixels élémentaires  $\omega$ , composé de surfaces  $\Omega_k$  couvertes par des milieux identifiés et dont on souhaite établir la cartographie. Soit les vecteurs  $\vec{\ell}(\omega)$  des mesures radiométriques de ces pixels, tels que  $\vec{\ell}(\omega) = (\ell_1(\omega), \dots, \ell_n(\omega))$  pour  $n$  canaux,  $\ell_i$  étant la mesure de  $\omega$  dans le canal  $i$  de l'image considérée. L'ensemble des vecteurs  $\vec{\ell}(\omega)$  constitue le domaine radiométrique de  $\Omega$ :  $D(\Omega)$

Nous définissons une nomenclature radiométrique par une partition de  $D(\Omega)$  en sous-ensembles  $D_1, D_2, \dots, D_K$  qui correspondent respectivement aux ensembles des mesures radiométriques des surfaces couvertes par  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_K$  et satisfont les deux conditions suivantes:

(1)  $D_i \cap D_j = \emptyset$  (l'ensemble vide), pour  $i, j = 1$  à  $K$ , et  $i$  différent de  $j$ . À un  $\vec{\ell}(\omega)$  donné ne peut être associé qu'un seul nom.

(2)  $D(\Omega) = \bigcup_{k=1}^K D_k$  : la nomenclature est composée de l'ensemble de tous les vecteurs  $\vec{\ell}(\omega)$ .

Ainsi, dans l'exemple présenté ici, les pixels mixtes, ou de limite, à cheval sur deux unités thématiques, en l'occurrence des champs et des territoires non cultivés ont été regroupés dans des taxons spécifiques.

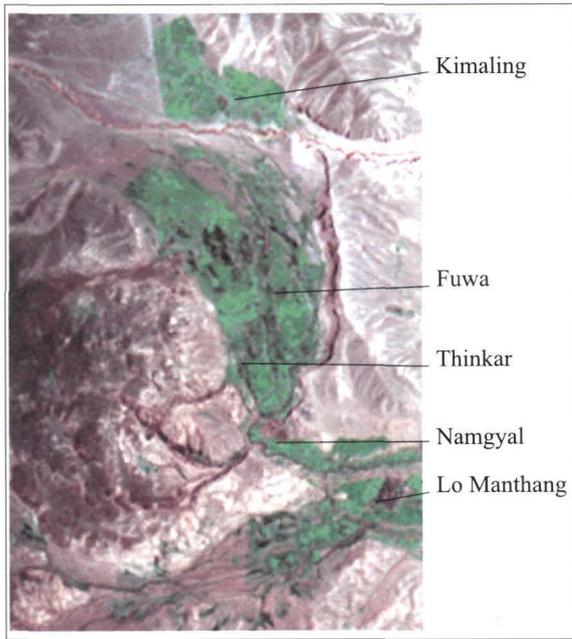


Figure 1 - La cité de Lo Manthang (et les villages de Kimaling, Thinkar, Fuwa et Namgyal) au Mustang (Népal) : Image SPOTXI (les étendues vertes sont les territoires cultivés).

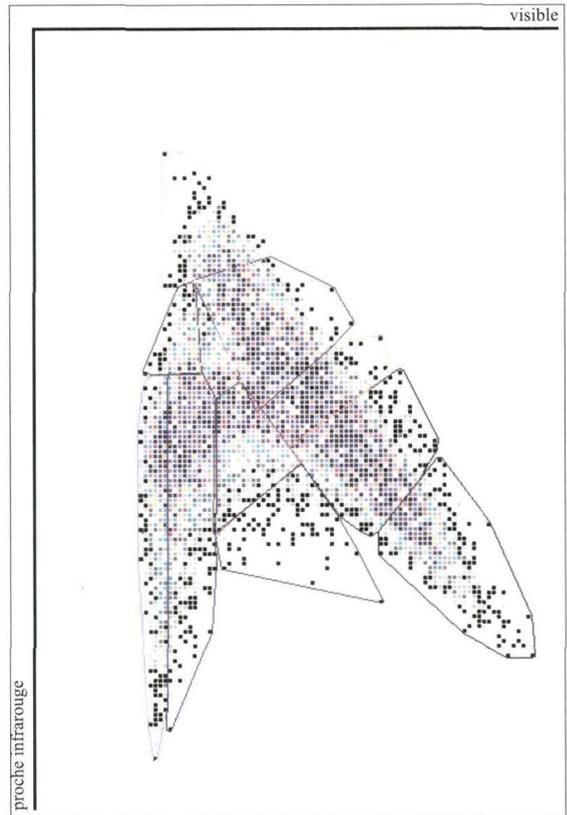
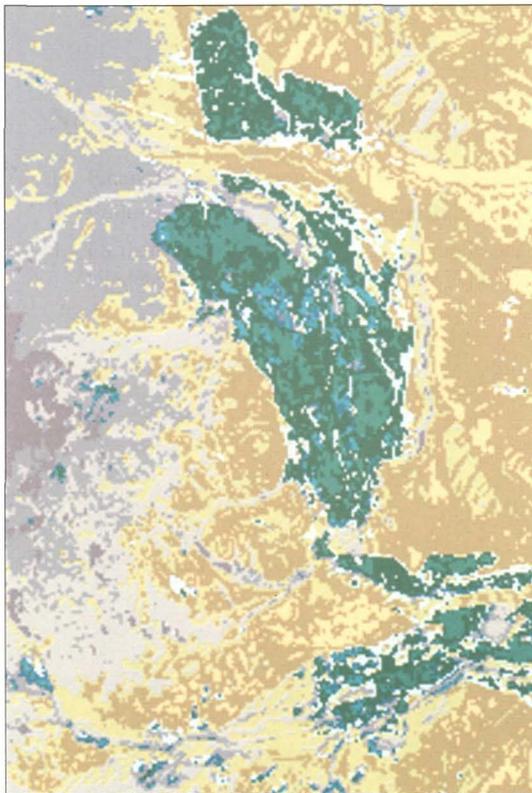


Figure 2 - Classification supervisée de l'image SPOTXI de Lo Manthang : domaine radiométrique D et classes  $D_K$ .

NB : Pour des besoins de représentation et de démonstration, nous n'avons utilisé que deux canaux sur les quatre disponibles, ce qui appauvrit la qualité de la classification et de la nomenclature obtenues, mais n'altère en rien la validité de notre propos.



			Couverture végétale discontinue
			Pâturage plus ou moins dense
			Champ d'orge et de sarrasin
			Fond de vallée et bordure de champs
			Contact champ-sol nu ; habitat.

Figure 3 - Carte de l'occupation à partir de la classification supervisée.

## 2. Le changement de résolution

Lorsque la résolution de la mesure diminue, les problèmes liés au changement de nature de la relation entre la mesure et son nom sont la plupart du temps masqués par les rapports entre la taille moyenne et la forme des objets thématiques et la nouvelle résolution. Afin de cerner ceux-là, nous ne développons ici que l'approche radiométrique, c'est-à-dire que nous nous penchons uniquement sur les relations entre le contenu du pixel et son nom sans considérer son voisinage.

### 2.1. La mesure basse résolution

Soit  $\Omega$  un pixel basse résolution, constitué, comme ci-dessus, d'un ensemble de pixels  $\omega$  haute résolution. On notera  $\vec{L}(\Omega)$  le vecteur constitué par les mesures radiométriques basse résolution de  $\Omega$ :  $\vec{L}(\Omega) = (L_1(\Omega), \dots, L_n(\Omega))$  pour les  $n$  canaux considérés. Dans le cas de l'image à haute résolution, il n'y a aucune ambiguïté portant sur la nature du signal, puisque, sauf dans le cas des pixels mixtes signalés ci-dessus<sup>2</sup>, les mesures  $\vec{L}(\omega)$  sont considérées comme ponctuelles et ont été étiquetées comme telles. Mais, dans le cas d'un changement de résolution, et si l'on établit la nouvelle nomenclature à partir de la haute résolution, toute mesure  $\vec{L}(\Omega)$  doit être considérée, à une bonne approximation près, comme la moyenne des mesures  $\vec{L}(\omega)$  haute résolution des surfaces couvertes par différents milieux dans  $\Omega$ .

Comme le montre la figure 4, cette moyenne est équivoque en ce que, par exemple, la mesure  $\vec{L}(\Omega) = \vec{L}_C$  peut aussi être la moyenne de mesures telles que  $\vec{L}_A$  et  $\vec{L}_B$ . La seule considération de la radiométrie ne permet donc pas de savoir si  $\Omega$  n'est couvert que de C ou s'il est, par exemple, couvert d'un mélange de A et de B.

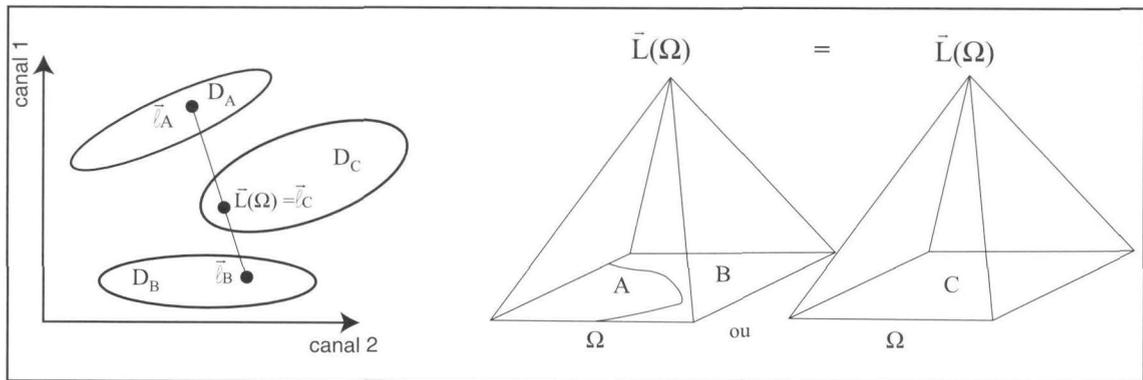


Figure 4 - Ambivalence d'une mesure basse résolution

Le paragraphe et les schémas suivants montrent que l'on peut néanmoins tirer des informations de  $\vec{L}(\Omega)$  quant au contenu de  $\Omega$ , et que ces informations dépendent étroitement de la position de  $\vec{L}(\Omega)$  dans le domaine radiométrique de  $\Omega$ .

### 2.2. Le domaine radiométrique de l'image basse résolution

Notons  $\Omega_i$  les différents sous-ensembles de  $\Omega$  tels qu'on peut les définir à haute résolution. Supposons que la réunion des  $\Omega_i$  recouvre  $\Omega$  et notons  $D$  l'ensemble des domaines radiométriques  $D_i$  des  $\Omega_i$ . Dessinons le plus petit des convexes contenant l'ensemble des points de  $D$ , appelé enveloppe convexe du domaine  $D$ . Les points de courbure de cette ligne fermée sont appelés points extrémaux<sup>3</sup>. La mesure  $\vec{L}(\Omega)$  de  $\Omega$  se trouvera

forcément à l'intérieur de l'enveloppe convexe de D et sa position à l'intérieur de cette enveloppe n'est pas indifférente à son contenu. Dans la figure 5, où  $i = 1$  à 4, le contour de l'enveloppe convexe a été noté d'un trait gras. Sur cette figure :

- Les  $\bar{L}(\Omega)$  dont les positions dans l'espace radiométrique sont 1, 2 et 3, sont situées sur des points extrémaux de l'enveloppe de D et ne peuvent être la moyenne d'aucun couple ou ensemble de points situés à l'intérieur cette enveloppe. Les pixels correspondant à ces mesures sont donc purs et composés respectivement uniquement des milieux recouvrant  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  et  $\Omega_3$ .

- Les pixels situés sur la frontière de l'enveloppe convexe, mais entre des points extrémaux, sont composés exclusivement d'un mélange des milieux dont les domaines radiométriques contiennent ces points extrémaux : les pixels correspondant à la mesure en 4 sont composés uniquement des deux milieux recouvrant  $\Omega_1$  et  $\Omega_2$ .

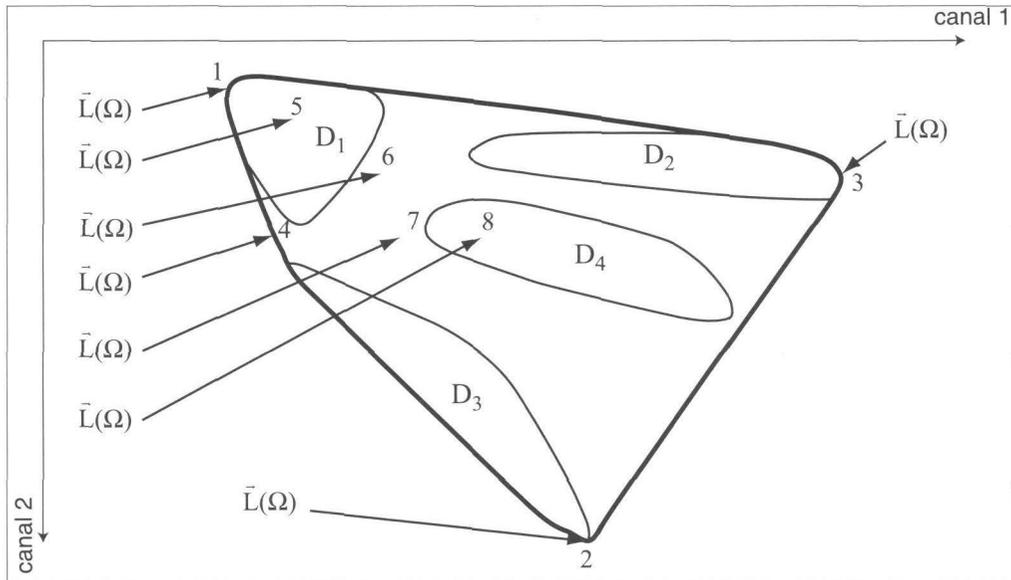


Figure 5 - Exemples de valeurs de luminance à basse résolution pour une nomenclature établie à haute résolution

En revanche,

- Les pixels correspondant à la mesure en 5 peuvent n'être composés que du milieu recouvrant  $\Omega_1$  mais aussi contenir les milieux recouvrant  $\Omega_2$ ,  $\Omega_3$ ,  $\Omega_4$ .
- Les pixels correspondant à la mesure en 6 sont composés forcément d'un mélange du milieu  $\Omega_1$  et d'au moins un des milieux recouvrant  $\Omega_2$ ,  $\Omega_3$ ,  $\Omega_4$ .
- Les pixels correspondant à la mesure en 7 sont forcément constitués d'un mélange d'au moins deux des quatre milieux sans qu'on puisse en dire rien de plus avec certitude.
- Les pixels correspondant à la mesure 8 peuvent être totalement couverts de  $\Omega_4$  ou n'en pas contenir du tout : on ne peut dire avec certitude d'aucun pixel, même de ceux dont les mesures appartiennent à  $D_4$  (mesure en 8), qu'il contient du milieu couvrant  $\Omega_4$ . En effet, aucun des points extrémaux de l'enveloppe convexe du domaine radiométrique ne correspond à  $D_4$  et tout point de  $D_4$  peut être une moyenne de mesure à l'instar de l'exemple développé dans la figure 4.

Si la nomenclature haute résolution est conservée telle quelle lors du changement de résolution, il existe donc une zone de D (à laquelle appartiennent les mesures en 7 et 8) dont on ne peut rien dire avec certitude : les pixels basse résolution dont les mesures appartiennent à cette zone ne pourront pas être nommés.

### 3. L'établissement de la nomenclature basse résolution

Les exemples précédents prouvent, d'une part, que la nomenclature haute résolution ne peut être conservée en l'état dès que l'on change de résolution, d'autre part, que l'on peut tirer de l'étude du domaine radiométrique  $D$  de l'image haute résolution des informations certaines, bien qu'incomplètes. En effet, les seules mesures qui ne donnent lieu à aucun doute sont les points extrémaux de l'enveloppe convexe du domaine radiométrique. Sur l'ensemble des points compris dans cette enveloppe, les informations certaines ne sont que partielles, parfois même inexistantes. Il faut donc construire une nouvelle nomenclature respectant les règles que nous avons définies et qui sera constituée de taxons faisant, dans un premier temps, référence explicite à la qualité de l'information qu'ils contiennent, tels que, d'une part, «  $\Delta_i$ : contenant (sûrement) du  $D_i$ , (mais pouvant aussi contenir d'autres milieux) », et, d'autre part, pour une partie de ce domaine, une zone « sans nom ».

Les étapes de la construction de cette nomenclature sont les suivantes :

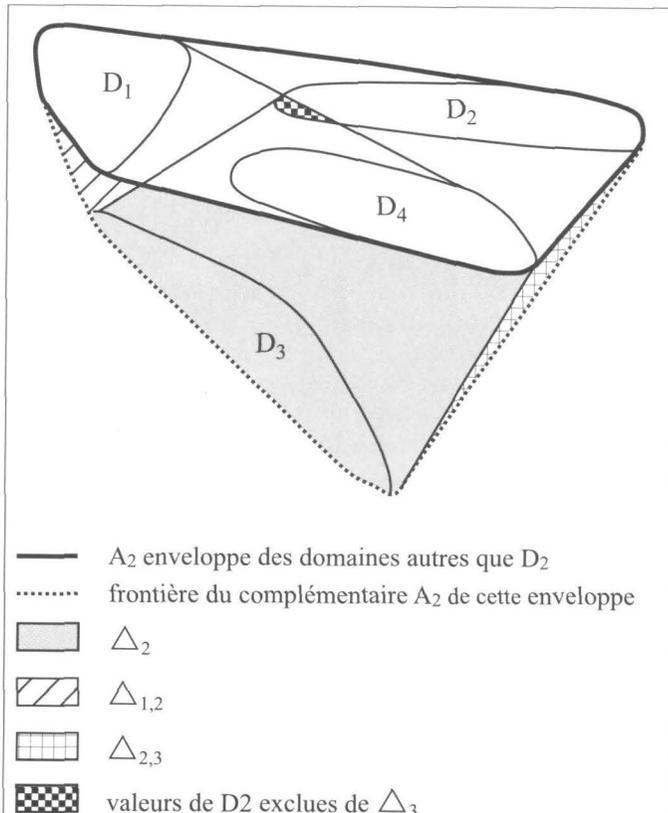
– On construit  $A_i$ , le complémentaire de l'enveloppe convexe de tous les domaines de  $D$  moins  $D_i$ . La seule chose sûre à propos de  $A_i$  est que les pixels dont les mesures lui appartiennent sont composés au moins pour partie de  $\Omega_i$  (néanmoins, on sait que les pixels, dont les mesures sont à la fois des points extrémaux de  $A_i$  et de l'enveloppe convexe de  $D$ , ne sont composés que de  $\Omega_i$ ).

–  $A_4$ , le complémentaire de l'enveloppe convexe des domaines  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  étant vide,  $\Omega_4$  n'apparaîtra pas dans la nomenclature.

– Les intersections de deux complémentaires,  $A_i \cap A_k$ , seront des taxons distincts :  $\Delta_{i,k}$ , dont les mesures correspondent à des pixels sûrement composés de  $\Omega_i$  et  $\Omega_k$  (les pixels dont les mesures sont situées sur le contour de l'enveloppe externe ne sont composés que de ces deux surfaces).

–  $\Delta_i$  sera alors construit en amputant  $A_i$  de ses intersections avec d'autres  $A$ .

– On ne pourra rien dire sur le complémentaire de l'ensemble des  $\Delta$ , qui sera alors étiqueté « sans nom » (noter que, dans l'exemple choisi,  $D_4$  appartient à ce complémentaire).



La figure 6 montre une étape intermédiaire de la construction des  $A$  et des  $\Delta$  : à titre d'exemple, on y a fait figurer  $A_2$ , l'enveloppe des domaines autres que  $D_2$  en trait plein et gras, et en pointillé et gras la frontière du complémentaire  $A_2$  de cette enveloppe, dont les mesures correspondent à des pixels forcément couverts pour partie par du  $\Omega_2$ .  $\Delta_2$  apparaît en gris.  $\Delta_{1,2}$ , l'intersection  $A_1$  et  $A_2$ , apparaît en rayé.  $\Delta_{2,3}$ , l'intersection  $A_2$  et  $A_3$ , apparaît en quadrillé.

On remarquera que :

- De nombreuses valeurs appartiennent à  $\Delta_2$  alors qu'elles n'appartiennent pas à  $D_2$ .
- En revanche certaines des valeurs appartenant à  $\Delta_3$  (partie en damier) sont exclues de  $D_3$  à cause de la forme de l'enveloppe convexe de son complémentaire : elles appartiennent à la zone « sans nom » et, contrairement à ce qui se passerait pour la haute résolution, un pixel dont la mesure appartient à cette zone ne peut être nommé.

Figure 6 - Ensemble des enveloppes convexes dont les complémentaires sont les milieux retenus

– La zone sur laquelle on ne peut rien dire avec certitude occupe une surface importante du domaine radiométrique de l'image : tout pixel dont la valeur appartiendra à cette zone ne pourra pas être nommé.

Pour ces deux dernières raisons, la nomenclature (fig. 7), bien que ne laissant aucune place à l'erreur, ne permettra pas de produire une information satisfaisante : il sera donc nécessaire, avant tout changement de résolution, de redéfinir des objets ou de changer de bandes radiométriques.

L'exemple développé ci-dessous montre comment on peut redéfinir la taxonomie en essayant de satisfaire au mieux aux trois conditions suivantes :

- $D_i$  a un sens thématique
- $D_i \subset \Delta_i$
- la zone sans nom doit être réduite à un minimum.

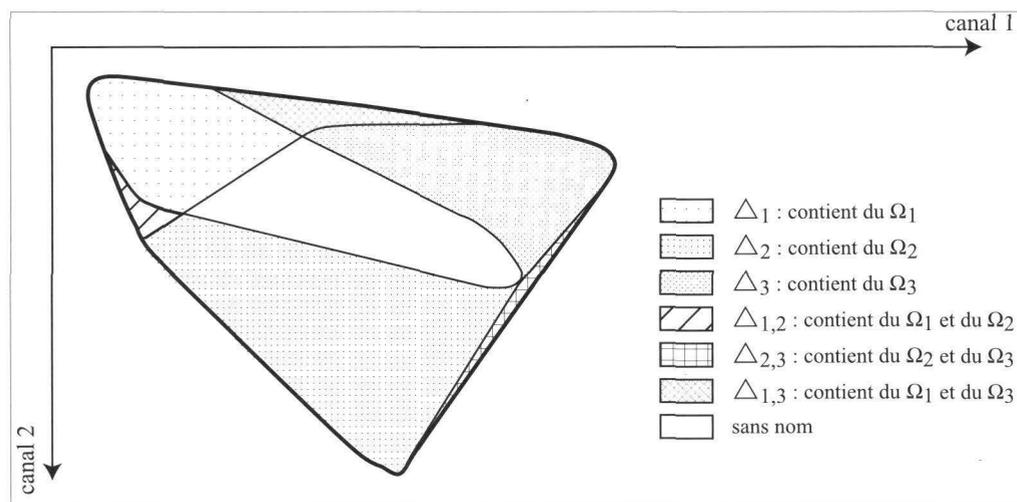


Figure 7- Etape finale de la nomenclature à basse résolution

#### 4. L'exemple du Mustang

On a simulé un changement de résolution en regroupant des pixels de l'image du Mustang dans des fenêtres  $10 \times 10$ ,  $25 \times 25$  et  $50 \times 50$ , et obtenu des pixels de respectivement 200 m, 500 m et 1 km (fig. 10, 13 et 16). Afin d'illustrer la nécessité de règles strictes par l'absurde, on a utilisé telle quelle la nomenclature haute résolution pour étiqueter les pixels des images de résolutions plus grossières : si l'on compare les cartes ainsi produites (fig. 11, 14 et 17) à la carte issue de la classification de l'image haute résolution (fig. 3), on s'aperçoit que, indépendamment de l'inadaptation de l'intitulé des taxons, non seulement elles ne sont pas cohérentes entre elles, mais encore elles sont de plus en plus fausses au fur et à mesure que la résolution devient plus grossière : la détérioration est particulièrement visible pour la classification de l'image de résolution 1 km dont tous les pixels sont mal classés. En effet, la taille des objets thématiques de la région considérée, et particulièrement des types d'espaces cultivés, est sensiblement inférieure à cette résolution.

À cette constatation, il convient d'ajouter que :

- les domaines de chaque taxon ne sont pas disjoints dans le domaine radiométrique de l'image haute résolution ;
- l'étude de la répartition des valeurs dans le domaine radiométrique à chaque résolution montre non seulement que, pour la haute résolution, la majeure partie de ces valeurs se trouvent déjà dans la zone sans nom d'une taxonomie basse résolution fondée sur les domaines extrémaux de la haute résolution, mais aussi que les valeurs "migrent" vers cette zone au fur et à mesure que la résolution devient plus grossière : à la résolution du km, on n'a plus aucune valeur dans les  $\Delta$  et aucun pixel ne peut plus être nommé.

Le cas est particulièrement patent pour les cultures d'orge dont le  $\Delta$  est beaucoup trop petit par rapport à son D, à cause de la présence du taxon culture de sarrasin. On se trouve alors contraint de regrouper ces deux taxons en un seul : territoire cultivé (contour rouge sur la figure 8). On a également rassemblé les trois taxons de « sols nus » en un seul. Enfin, constatant que les taxons intermédiaires désignaient en réalité des mélanges de ces trois entités, on ne les a pas retenus : seuls les nouveaux taxons extrémaux ont été conservés en tant que tels pour l'élaboration des A (fig. 8) et des  $\Delta$  (fig. 9).

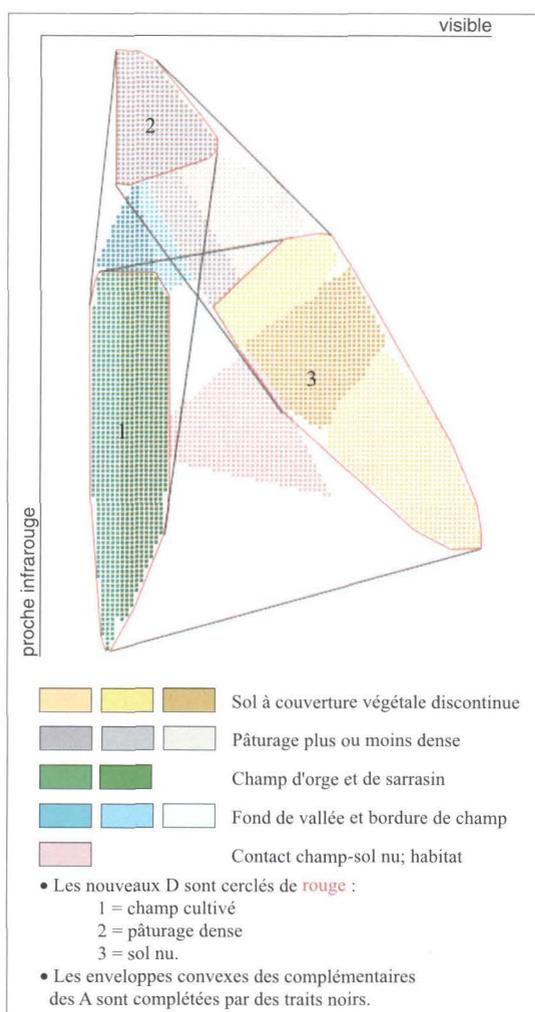


Figure 8 - Nomenclature haute résolution

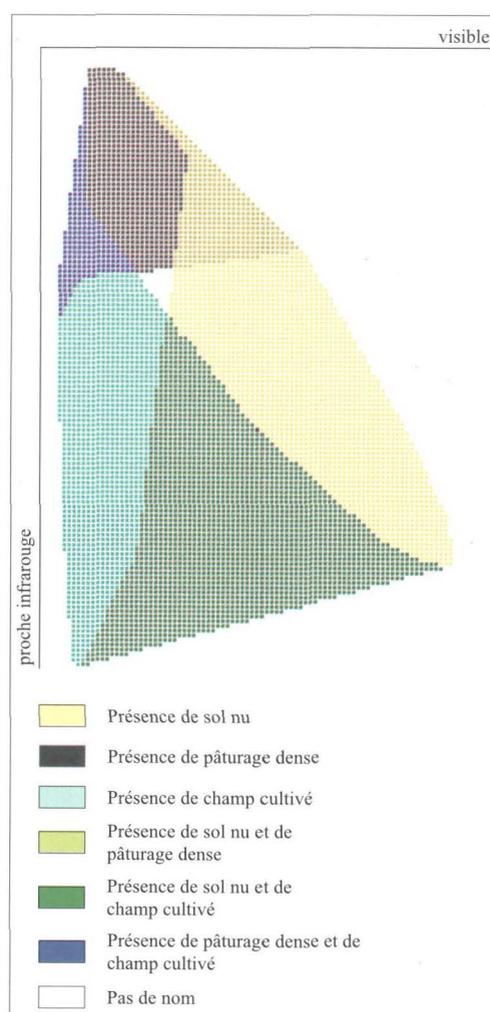
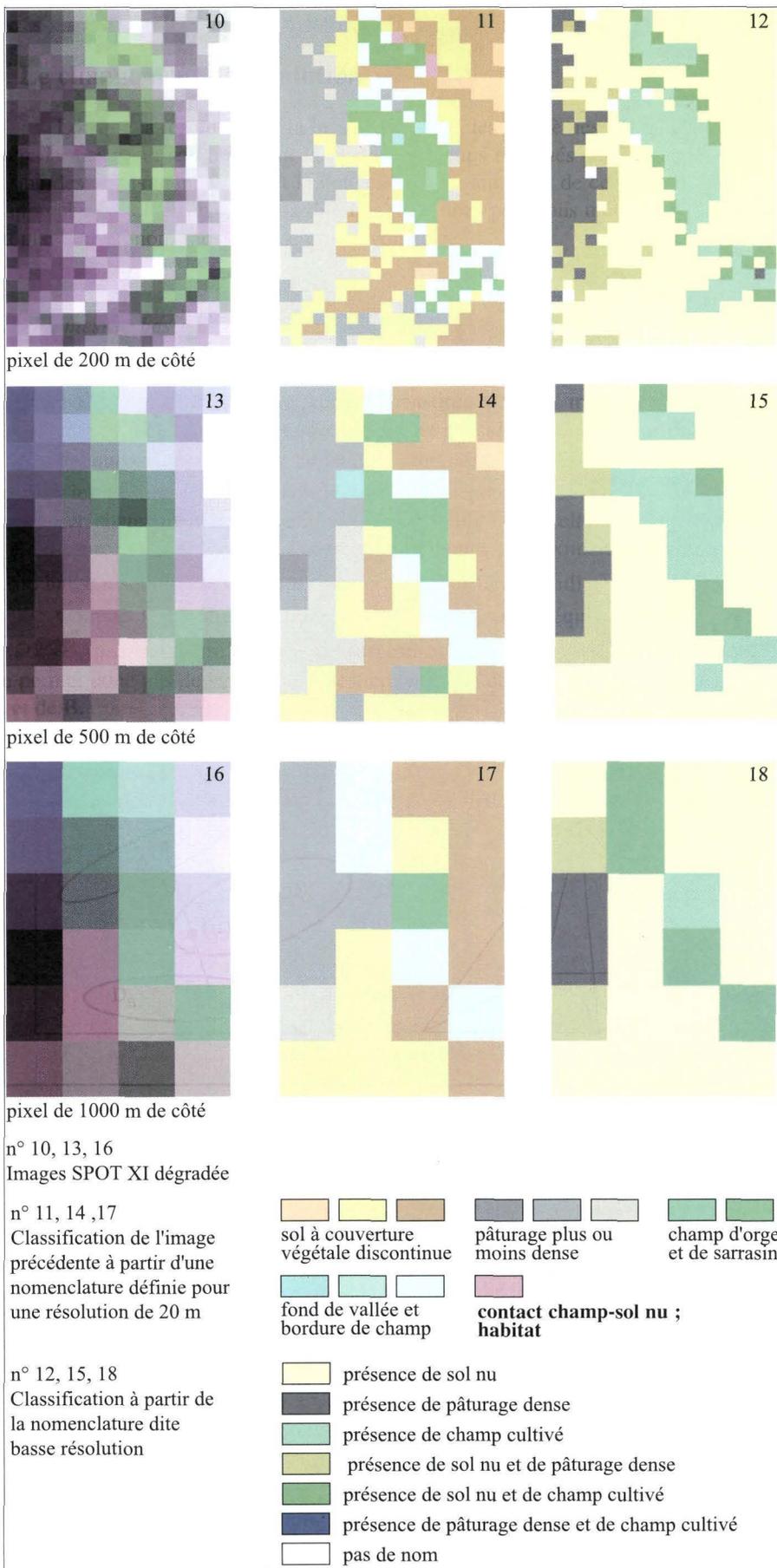


Figure 9 - Nomenclature basse résolution

Les  $\Delta$  ainsi construits répondent bien aux conditions définies précédemment :

- les taxons retenus ont un sens thématique et sont cohérents entre eux ;
- les 3 D nouvellement définis sont inclus dans les  $\Delta$  qui leur correspondent ;
- la zone « sans nom » est réduite : si certains pixels ne sont pas classés dans l'image de résolution 200 m (fig. 10) ils le sont tous dans les images de résolutions 500 m et 1 km (fig. 13 et 16).

En revanche, les taxons retenus sont moins précis que ceux de la haute résolution (on ne peut pas, par exemple, spécifier la culture mais seulement indiquer qu'il y a de l'espace cultivé dans le pixel) ; ce qui ne saurait étonner, la taille des objets thématiques étant de l'ordre de la résolution considérée. La possibilité de pouvoir nommer tous les pixels se paye donc d'une moins grande précision de leurs noms. Cette imprécision



Figures 10 à 18

peut être connue et l'on peut estimer raisonnablement la part de chaque taxon dans chaque pixel en utilisant la méthode de quantification des aires couvertes, également fondée sur la méthode des enveloppes convexes et développée par Raffy [2].

Enfin, on remarquera qu'aucun pixel n'est mal classé et que, d'une résolution à l'autre, les cartes obtenues restent cohérentes les unes avec les autres, contrairement aux cartes obtenues en utilisant sans règles une taxonomie établie pour une résolution plus haute.

Nous avons montré dans le cadre des nomenclatures radiométriques de la télédétection qu'il est possible de déterminer avec précision l'information qu'on peut tirer de la connaissance du domaine radiométrique acquise à haute résolution pour le traitement d'images de basse résolution. Des règles et une méthode de construction d'une nomenclature peuvent ainsi être formulées à partir des règles physiques du changement de résolution : une nomenclature établie selon ces règles à une résolution donnée est valable pour toutes les résolutions plus basses. Néanmoins, si cette information est certaine, elle est limitée. Elle devra être complétée par la prise en compte d'autres facteurs, tels que la taille et la forme ou l'agencement des objets thématiques que l'on souhaite cartographier, écartés ici à seule fin d'établir ces règles.

## Références bibliographiques

- [1] BLAMONT D., 1993 : « Remote Sensing and the geographical conception of space analysis in the mountainous areas of Central Nepal », *Nepal Past and Present*, édité par G. Toffin, Paris, Éditions du CNRS, pp. 347-367
- [2] RAFFY M., 1994 : « The role of spatial resolution in quantification problems : spatialization method », *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15, n° 12, pp. 2381-2392
- [3] RAFFY M. et BLAMONT D., 1999 : « Radiometric Nomenclatures and Scaling », soumis à *International Journal of Remote Sensing*, 20 pages

## Notes

- 1 - Financée par le Programme National de Télédétection Spatiale
- 2 - Et qui équivalent à un changement de résolution à l'intérieur d'une même image
- 3 - La théorie de l'utilisation de la méthode des enveloppes convexes pour la modélisation fondée sur des données de télédétection est exposée dans Raffy [2] et Raffy et Blamont [3]