

L'image spatiale et son contenu

Deshayes M., Maurel P.

in

Deshayes M. (ed.).
La télédétection en agriculture

Montpellier : CIHEAM
Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 4

1991
pages 11-20

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI911175>

To cite this article / Pour citer cet article

Deshayes M., Maurel P. **L'image spatiale et son contenu**. In : Deshayes M. (ed.). *La télédétection en agriculture*. Montpellier : CIHEAM, 1991. p. 11-20 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 4)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

L'image spatiale et son contenu

Michel DESHAYES, Pierre MAUREL
 Laboratoire Commun de Télédétection
 CEMAGREF-ENGREF, Montpellier (France)

Résumé : Cette présentation vise à donner un premier aperçu de ce qu'est une image de télédétection, du type d'information qu'elle contient et des moyens à mettre en oeuvre pour accéder à cette information. Compte tenu de l'étendue du sujet, nous avons volontairement limité le cadre de notre exposé aux images satellitaires en ce qui concerne la nature des images, et aux traitements numériques en ce qui concerne leur analyse. Nous ne traiterons donc pas de domaines tels que la photographie aérienne ou la photointerprétation.

I. – Structure d'une image numérique de télédétection

La principale différence entre les photographies aériennes et les images satellitaires fournies par un radiomètre réside dans le fait que ces dernières ont été échantillonnées.

Il y a un double échantillonnage de l'information :

- spatial** : la zone observée est découpée en surfaces élémentaires (tachètes ou pixels) dont la taille caractérise la résolution spatiale du satellite ;
- numérique** : le signal analogique enregistré par les détecteurs est codé à l'aide d'entiers compris entre 0 et 255.

Une image numérique est donc un tableau à deux dimensions (**figure 1**). Ainsi, une image SPOT de dimensions 60 × 60 km avec une taille de pixel de 20 × 20 m correspond à un tableau de 3 000 lignes × 3 000 colonnes.

Afin d'obtenir des informations différentes, les capteurs observent la terre dans plusieurs bandes de longueurs d'onde, encore appelées «canaux». On dit qu'ils sont multispectraux. Une image multispectrale comprend donc plusieurs tableaux, chaque tableau correspondant à un canal du satellite (**figure 2**).

Prenons le cas d'une image multispectrale SPOT :

- elle est composée de trois tableaux superposés ;
- à chaque pixel sont associées trois valeurs radiométriques comprises entre 0 et 255.

La visualisation de la répartition des valeurs numériques de l'ensemble des pixels d'une image peut alors se faire à l'aide d'un histogramme. Ainsi, dans le cas d'un seul canal, l'histogramme représente la fréquence de chacune des valeurs obtenues dans ce canal (**figure 3**). Dans certains cas, on utilise un histogramme bidimensionnel construit à partir de deux canaux significatifs d'une image.

II. – Paramètres influant sur le contenu d'une image de télédétection

Le contenu des images de télédétection est fortement lié à certains paramètres qui dépendent des

caractéristiques du satellite. Il s'agit notamment de :

1. La définition de l'image

La taille des phénomènes étudiés doit être nettement plus grande que celle des pixels, d'où l'importance de la résolution spatiale du satellite. Ainsi, par exemple, travailler sur un parcellaire dont la surface moyenne des champs est d'un hectare avec Landsat MSS, dont le pixel représente un demi-hectare, est voué à l'échec dans le cas d'un inventaire des cultures.

2. Les canaux disponibles

Les valeurs radiométriques d'un pixel dépendent de ses propriétés optiques. Ainsi, dans le cas d'un pixel de végétation, la réponse dans les canaux du visible (vert et rouge pour SPOT) est fonction de la teneur en pigments foliaires des végétaux alors qu'elle dépend surtout de la structure des feuilles dans le proche infrarouge (PIR) et de la teneur en eau dans le moyen infrarouge (MIR). Nous voyons donc que chaque domaine spectral apporte une information bien particulière sur la nature du corps observé. Les valeurs d'un pixel dans les différents canaux permettent donc de caractériser sa nature ; on parle de signature spectrale (**figure 4**). Bien entendu, il arrive que des pixels de nature différente présentent à un moment donné des signatures spectrales similaires. C'est parfois le cas par exemple du soja et du maïs. Des images prises à des dates judicieuses sont alors nécessaires.

3. La date de prise de vue

Elle doit être en relation avec les thèmes à extraire et de ce fait nécessite une bonne connaissance du terrain. Ce paramètre est d'autant plus important que le thème étudié évolue rapidement. C'est par exemple le cas en agriculture. Ainsi, en France, une image de printemps contient l'information concernant l'orge, le blé, le colza, etc., alors qu'une image d'automne nous renseignera sur des cultures telles que le maïs, le soja, etc. Il est même nécessaire dans la plupart des cas de disposer de deux images prises à des dates différentes pour arriver à une bonne séparation des cultures entre elles.

Nous voyons donc ici tout l'intérêt de la répétitivité du satellite, c'est-à-dire du fait que le satellite repasse régulièrement sur la même zone (tous les 16 jours pour Landsat TM, jusqu'à moins de trois jours en moyenne pour SPOT grâce à la visée latérale).

III. – Les différents modes de traitement des données de télédétection

Les méthodes utilisées pour extraire de l'image l'information recherchée varient selon le type de support. Il est en effet possible de reconstituer point à point l'image sur un support photographique ou de la conserver sous sa forme numérique sur support magnétique (bande ou disquette). Si l'analyse des films positifs et des tirages sur papier relève du domaine de la photointerprétation, les données numériques sont par contre traitées à l'aide de moyens informatiques et de logiciels spécifiques.

1. La photointerprétation

Nous ne développerons pas ici les principes de la photointerprétation, cette technique étant pratiquée depuis de nombreuses années dans le domaine de la photographie aérienne. Elle continue à être largement utilisée en imagerie satellitaire où elle présente certains avantages.

En fonction de sa connaissance du sujet étudié et du terrain, le photointerprète expérimenté peut analyser une image dans son ensemble, en prenant en compte non seulement les teintes et couleurs mais également la forme, la texture et la structure des divers éléments qui la composent, ainsi que leur

agencement dans l'espace et faire abstraction des données parasites (ou «bruit»). Il peut de plus prendre en compte des informations extérieures à l'image (géologiques, pédologiques, climatologiques, etc.) et tirer parti de son expérience. La qualité de l'interprétation de l'image dépend donc avant tout de la compétence du photointerprète.

Par contre, l'estimation des superficies occupées par les différents thèmes délimités par l'observateur reste longue, fastidieuse et pas très précise. De manière générale, la photointerprétation met en jeu des procédés difficilement généralisables, qui doivent être renouvelés à chaque image traitée. Toutefois, on commence à parler de photointerprétation assistée par ordinateur.

2. Les traitements numériques des données

Les traitements numériques permettent de reproduire nombre d'opérations effectuées avec des films, ainsi que, souvent, une plus grande adaptation des données aux exigences de l'utilisateur. Leurs avantages se situent aux niveaux suivants :

- **Meilleure visualisation.** Une table de transcodage valeur numérique/couleur permet de visualiser les données sur un écran. L'utilisateur peut modifier à sa guise la table de transcodage jusqu'à l'obtention d'un contraste adapté aux besoins de son étude. De plus un seul canal ou plusieurs canaux peuvent être visualisés simultanément soit en noir et blanc, soit en couleur ;

- **Souplesse d'édition.** La même souplesse existe pour l'édition des données brutes ou des résultats sur papier avec une imprimante ;

- **Facilités de cartographie.** Une fois mise au point, la méthode numérique est bien plus rapide et bien moins fastidieuse qu'en photointerprétation. Elle fait appel aux trois grandes familles de traitements numériques qui seront détaillées plus loin :

- **Les corrections géométriques** afin de rendre la projection de l'image enregistrée identique à celle des cartes habituelles. Sous forme numérique la correction est plus facile que sous forme photographique. Ce type de traitement est aussi nécessaire pour l'analyse multitemporelle et l'assemblage d'image.

- **Les classifications** consistent à regrouper les pixels de l'image dans un certain nombre de classes et à visualiser le résultat après avoir affecté une couleur à chaque classe.

- **L'analyse multitemporelle**, destinée à comparer deux images prises à des dates différentes. Elle nécessite que les deux images aient la même géométrie d'où le besoin de corriger géométriquement l'une des deux (ou les deux) de manière à ce qu'elles soient superposables l'une à l'autre (éventuellement à une carte). Lorsqu'une zone d'étude se situe à cheval sur plusieurs images, il est nécessaire d'assembler des images, d'où l'importance là aussi de l'ajustement géométrique des données.

- **Estimation de surface.** Une fois une classification obtenue, il est possible de compter automatiquement le nombre de pixels de chaque classe. En multipliant ce nombre par la surface élémentaire du pixel (0,04 ha dans le cas de SPOT), on obtient alors la surface de la classe dans l'image.

- **Réduction de dimensions.** Landsat TM fournit six valeurs radiométriques par pixel (la bande thermique n'est pas prise en compte) ce qui rend le travail d'analyse ultérieur particulièrement long et difficile, toute visualisation ne permettant de travailler au plus que sur trois canaux simultanément (un canal pour chacune des trois couleurs fondamentales : rouge, vert, bleu). Des traitements numériques utilisant les techniques de l'analyse de données permettent de comprimer l'ensemble de l'information en un nombre plus restreint (trois en général) de nouveaux canaux.

IV. – Les prétraitements numériques

On distingue classiquement les traitements préalables destinés à la mise en forme optimale des données et les traitements proprement dits pour interpréter les données et évaluer les résultats.

1. Prétraitements

□ **Corrections radiométriques.** Elles permettent de diminuer les perturbations dues à l'atmosphère et aux capteurs. Dans le cas d'étude multitemporelle, il est souvent souhaitable de corriger la radiométrie en fonction de la date (éclaircissements solaires différents) afin de pouvoir comparer sérieusement les deux images. Pour cela, on choisit des «invariants», objets au sols dont la radiométrie ne change pas ou dont la loi de variation est connue. Dans la filière de la production des données, ces traitements sont réalisés de manière générale en amont de l'utilisation finale.

□ **Corrections géométriques.** Elles sont destinées à corriger l'image des déformations systématiques dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variations de vol, technologie du capteur) ainsi qu'à rendre l'image superposable à une carte. Elles sont faites soit à partir de paramètres d'orbite et d'attitude enregistrés durant le vol, soit à l'aide de lois de déformations, pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu (UTM ou Lambert II étendu, par exemple). Les lois de déformations sont calculées à partir de points particuliers, encore appelés amers, dont les coordonnées sont connues à la fois sur le terrain et sur l'image (croisement de routes, de chemins de fer, etc.). Dans certains cas, il n'est pas nécessaire de procéder dès le départ à une correction géométrique. Il est alors plus économique de réaliser ce traitement particulièrement lourd uniquement sur l'image finale, équivalent à un canal, plutôt que sur l'ensemble des canaux d'origine.

2. Méthodes globales d'amélioration de contraste et de compression des données

En général, ces méthodes servent à améliorer l'apparence des données avant de démarrer les traitements proprement dits.

□ **Étalement de dynamique.** Prenons le cas d'un seul canal visualisé en teintes de gris. Comme les données sont habituellement codées de 0 à 255 (0 pour une absence de lumière et 255 pour une lumière maximale), la visualisation la plus simple consiste à visualiser les pixels de valeur 0 en noir, ceux de valeur 255 en blanc et ceux de valeur intermédiaire dans la teinte de gris linéairement correspondante.

Cependant, dans la réalité, il est rare que toute cette plage de teintes soit utilisée. Dans certains cas, la gamme effectivement recueillie dans une image peut être très étroite : elle pourra par exemple être comprise entre les niveaux 40 et 80, d'où l'impression d'une image terne, où peu de détails apparaissent.

Avec un ordinateur, il est aisé de faire en sorte que le niveau 40 de l'image d'origine soit pris pour niveau 0 d'une nouvelle image (autrement dit on remplacera le gris le plus foncé par du noir), que le niveau 80 de cette image corresponde au niveau 255 (le gris le plus clair devenant du blanc) et que les niveaux intermédiaires entre 40 et 80 soient linéairement répartis entre 0 et 255, afin que la nouvelle image fasse très bien apparaître les contrastes. On aura donc étalé la dynamique.

De plus, si les informations intéressantes se situent plutôt dans telle ou telle partie de l'intervalle, on pourra choisir de privilégier cette partie de l'histogramme. Bien entendu, il existe des fonctions plus complexes qu'un simple étalement linéaire pour réaliser ce type d'opération.

□ **Equipopulation.** La visualisation en équipopulation d'un canal donné est à la fois une technique d'amélioration de contraste et une technique de compression des données.

On choisit de diminuer le nombre de teintes de gris, par exemple 5 au lieu des 255 théoriques, et on procède à la nouvelle affectation de telle sorte que chaque teinte de gris ait environ le même nombre de représentants dans l'image. En résultat, on dispose du maximum de niveaux distincts là où il y a le plus d'informations à percevoir. Cette procédure permet une vision optimale de l'image.

□ **Analyse en Composantes Principales (ACP).** Cette technique a pour but de résumer l'information des canaux originaux (les six canaux de Landsat TM par exemple) dans un nombre plus réduit de nouveaux canaux (deux ou trois). Plus exactement, on définit et on ordonne de nouveaux canaux de telle sorte que les premiers représentent le maximum d'information. Du fait de l'existence de corrélation entre les divers canaux d'une image, le fait de sélectionner alors les trois premiers canaux n'entraîne qu'une faible perte d'information.

V. – Les traitements proprement dits

L'extraction d'informations peut se faire selon plusieurs méthodes, dont nous présenterons ici les deux plus répandues :

- l'**approche statistique** d'après les seules valeurs radiométriques du pixel, qui débouche sur de nombreux procédés de seuillage et de classification ;
- les **autres approches** qui prennent en compte non seulement la radiométrie individuelle d'un pixel mais également celle des pixels de son voisinage immédiat ou ailleurs dans l'image.

1. Les traitements statistiques

Nous avons vu qu'à un pixel est associé autant de valeurs radiométriques que le satellite a de canaux. Ainsi on peut représenter un pixel d'une image SPOT XS (trois canaux) dans un espace à trois dimensions (**figure 5**).

Chaque pixel a un point représentatif dans cet espace des radiométries et une image constitue donc un nuage de points, sur lequel on peut appliquer divers traitements : tous consistent à isoler des portions du nuage (ou classes) et à identifier sur l'image les pixels correspondants.

• Seuillage d'un histogramme monodimensionnel

A partir de l'histogramme d'un seul canal, cette technique consiste à ne retenir que les pixels dont la radiométrie est comprise entre deux valeurs. Bien que très sommaire, elle permet cependant dans certains cas de séparer certains thèmes bien caractéristiques, ces thèmes se traduisant souvent sur l'histogramme par la présence de plusieurs «bosses». L'exemple classique est celui de la mise en évidence des pixels en eau dans le canal du proche infrarouge (**figure 6**).

• Classifications

Les classifications consistent à découper le nuage de points en cubes, en sphères ou en ellipsoïdes, chacun regroupant les éléments de l'image appartenant à la même classe. Le but de l'opération consiste à réaliser le découpage optimal.

Lorsque les cubes ou les sphères se recoupent, l'affectation du pixel à classer à l'un ou à l'autre se fait par des calculs plus ou moins complexes dont le plus simple consiste à comparer les distances du point considéré au centre des deux cubes ou sphères.

Les méthodes de classification se divisent en 2 grands groupes : les méthodes supervisées et les méthodes non supervisées.

Les méthodes non supervisées ont été mises au point pour être utilisées lorsque l'on ne dispose pas d'information *a priori* sur la zone. Le traitement regroupe alors les pixels radiométriques semblables en un nombre de classes fixé au départ. Le thématicien intervient ensuite pour donner un nom à chacune des classes obtenues, ce qui n'est pas toujours facile.

C'est pourquoi, on préfère en général une **méthode supervisée**, où l'on dispose au départ d'échantillons dans l'image des différentes classes que l'on cherche à obtenir. La classification comportera alors les étapes suivantes :

- définition de la légende et obtention d'une carte comprenant des échantillons de chaque classe de la légende,
- délimitation de ces échantillons sur l'image numérique,
- extraction des paramètres statistiques des échantillons et des classes,
- vérification de la possibilité de réaliser la classification (matrice de confusion avec 2^e jeu d'échantillons) et éventuelle modification de la légende,
- classification de toute l'image,
- édition de la carte obtenue.

• Utilisation d'opérateurs non linéaires et recherche d'indices

Ces traitements, qui peuvent être également classés comme méthodes de compression des données, sont issus de l'analyse de la physique des phénomènes. Les images résultantes ont une signification concrète. L'examen des réponses obtenues dans les canaux du rouge et du proche infrarouge ont conduit à la définition de deux indices : l'indice de végétation et l'indice de brillance.

– **L'indice de végétation** est lié à l'activité du couvert végétal : les pigments foliaires absorbent fortement le rayonnement dans le rouge (R) alors que le parenchyme lacuneux réfléchit une grande partie du rayonnement proche infrarouge (PIR). Ainsi en phase de développement d'un couvert, la biomasse et les quantités de pigments augmentent, ce qui entraîne une hausse dans le proche infrarouge et une baisse dans le rouge. L'inverse se produit en fin de cycle végétatif. Plusieurs indices, proportionnels à une activité chlorophyllienne active; ont ainsi été mis au point parmi lesquels un des plus connus est :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R}) \text{ dont les valeurs varient entre } -1 \text{ et } +1$$

(NDVI pour : *Normalized Difference Vegetation Index*)

– **L'indice de brillance** traduit pour sa part les changements de teintes des sols nus et des roches. Le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation simultanée des valeurs radiométriques dans les deux canaux. Cet axe communément appelé «droite des sols» sera représenté physiquement par l'indice de brillance :

$$\text{IB}^2 = \text{PIR}^2 + \text{R}^2$$

Cet indice varie aussi de manière inversement proportionnelle avec l'humidité et la rugosité du sol.

• Apport de la thématique

L'apport de la connaissance du milieu peut se faire à différents niveaux :

- dans le cas d'un inventaire des cultures, le suivi radiométrique dans le temps des différentes cultures à l'aide d'un appareil portable permet de déterminer les meilleures dates d'acquisition des images satellites pour une séparabilité optimale.
- en phase de classification, les caractéristiques statistiques des différentes classes peuvent être déterminées d'après la radiométrie de zones d'entraînement isolées sur l'image et identifiées sur le terrain. La «supervision» du processus peut continuer par la modification des classes initiales (changement des paramètres statistiques, suppression ou fusion de ces classes) ou la création de nouvelles classes afin d'arriver à une cartographie thématique représentative.
- la validité du résultat final peut être évaluée à l'aide de zones de contrôle qui n'ont pas servi à la définition préalable des classes.
- la segmentation préliminaire de l'image en zones géographiques homogènes peut être souvent nécessaire pour permettre par la suite une classification cohérente.

2. Les autres traitements

• Avec l'apparition des satellites à haute résolution (SPOT, Landsat TM), la notion de texture joue un rôle de plus en plus important en analyse d'images. La texture correspond à un aspect local particulier tel que le moutonnement du couvert forestier. Certains critères de texture servent parfois à améliorer des processus de classification.

• des opérateurs mathématiques, encore appelés «filtres», permettent d'éliminer un bruit particulier sur l'image, de réhausser ou au contraire d'atténuer les contrastes locaux, d'accroître ou de faire disparaître tel ou tel thème dans une image classée, de segmenter automatiquement une image en zones homogènes.

• d'autres algorithmes sont utilisés pour extraire des formes caractéristiques dans l'image (réseau linéaire tel que les routes ou les cours d'eau par exemple). On rentre ici dans le domaine de la morphologie mathématique.

L'utilisation de ces techniques est encore récente en télédétection et elles font l'objet de nombreux travaux de recherche.

3. Les tendances actuelles

Le fait le plus marquant, mis à part les essais d'utilisation de résultats des recherches en morphologie mathématique (reconnaissance de formes), réside dans les efforts qui sont faits pour coupler les données satellitaires avec des données exogènes stockées sous forme numérique. On parle d'intégration des images satellitaires dans les systèmes d'informations géographiques ou SIG (en anglais, *Geographic Information System* ou *GIS*).

Les intérêts sont nombreux en télédétection : on peut par exemple segmenter automatiquement l'image satellitaire si les limites recherchées (zones administratives, agro-climatiques, etc.) sont déjà stockées dans le SIG. On peut également introduire des critères de décision supplémentaires dans les processus de classification de l'image pour améliorer la thématique finale. C'est le cas par exemple de la prise en compte de critères tels que l'altitude, l'exposition, le type de sol lors d'une étude d'inventaire de cultures.

VI. – Les systèmes de traitement d'images

Alors qu'auparavant les procédures de traitement numérique n'étaient accessibles que sur matériels spécialisés (donc chers) ou sur moyens ou gros systèmes informatiques, les progrès récents de la microinformatique en termes de capacité de calcul et de stockage de données ont permis l'apparition sur le marché de logiciels de traitement d'image (CARTO PC, CHIPS, DIDACTIM, ERDAS, MULTISCOPE, etc.) pilotables par des micro-ordinateurs standard compatibles PC.

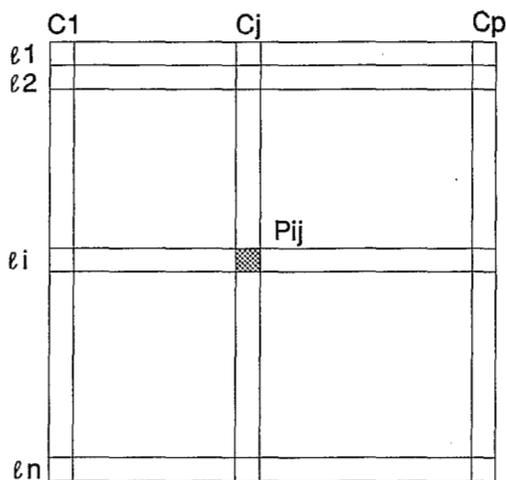
La principale conséquence est une diminution très sensible des coûts d'une station complète de traitements d'images (micro-ordinateur + périphériques + logiciels) ; ils varient actuellement entre 150 000 F et 300 000 F selon la configuration choisie.

Apparus dans un premier temps dans les organismes de recherche ou de formation, ces matériels équipent actuellement les bureaux d'étude et même certains utilisateurs finaux. En collaboration avec ces utilisateurs, les fabricants des logiciels commencent à développer des algorithmes spécifiques à telle ou telle application (cartes d'occupation du sol, extraction automatique des zones urbaines, etc.).

Les années qui viennent verront donc, à la suite d'un effort de formation et d'équipement des utilisateurs et de la mise au point de nouvelles applications, l'intégration plus poussée de la télédétection dans les outils d'aide à la décision.



Figure 1 : Structure d'une image numérique monospectrale de télédétection



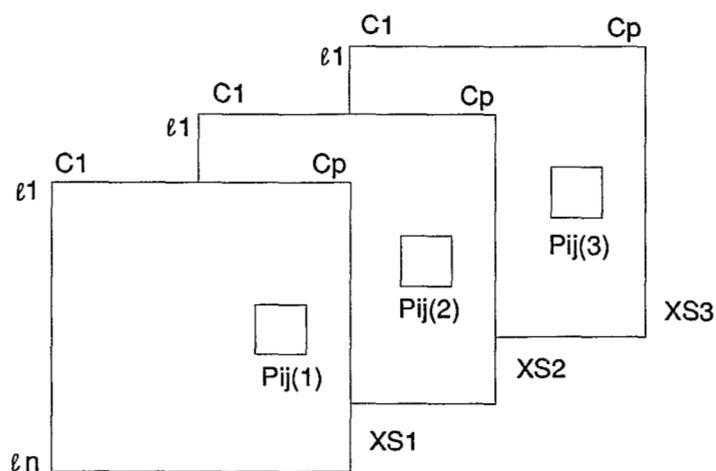
A un pixel P_{ij} sont associées 3 valeurs :

1 - Sa coordonnée en ligne $L(i)$

2 - Sa coordonnée en colonne $C(j)$

3 - La mesure physique $L(i,j)$ faite par le capteur et codée entre 0 et 255

Figure 2 : Structure d'une image numérique multispectrale de télédétection



C : colonne

L : ligne

XSk : Kème canal
 $k = 1,2,3$ pour SPOT
 par exemple

Figure 3 : Histogramme des valeurs numériques d'un canal

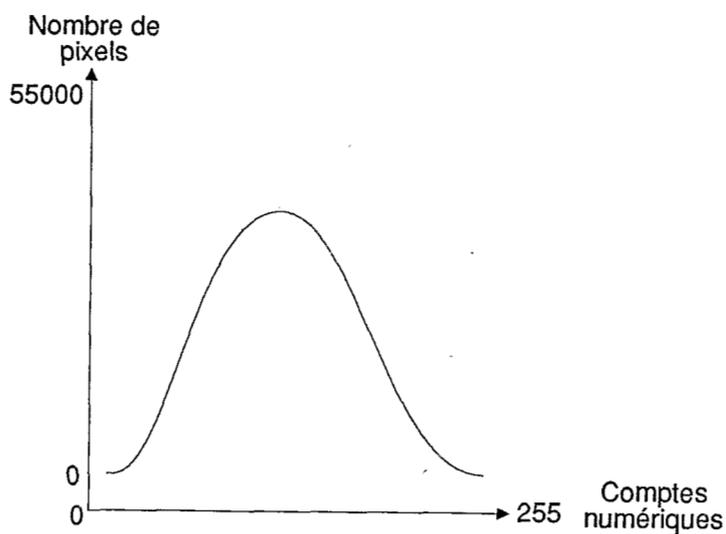


Figure 4 : Signatures spectrales de divers éléments

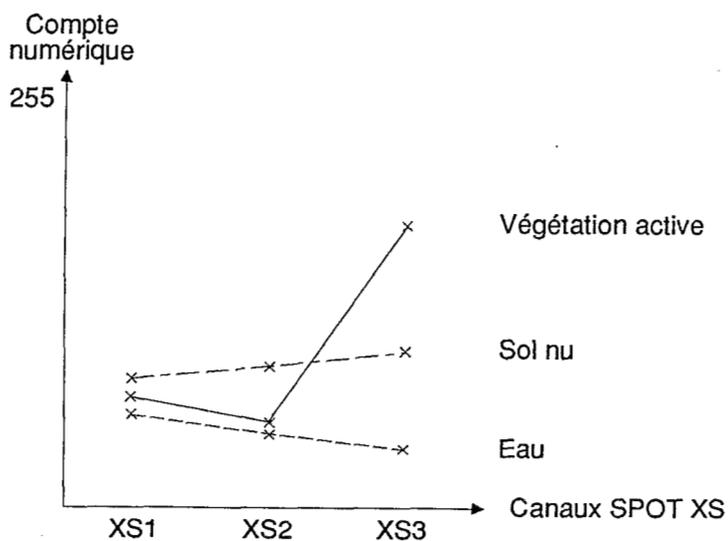


Figure 5 : Visualisation d'un pixel d'une image SPOT XS dans l'espace des radiométries

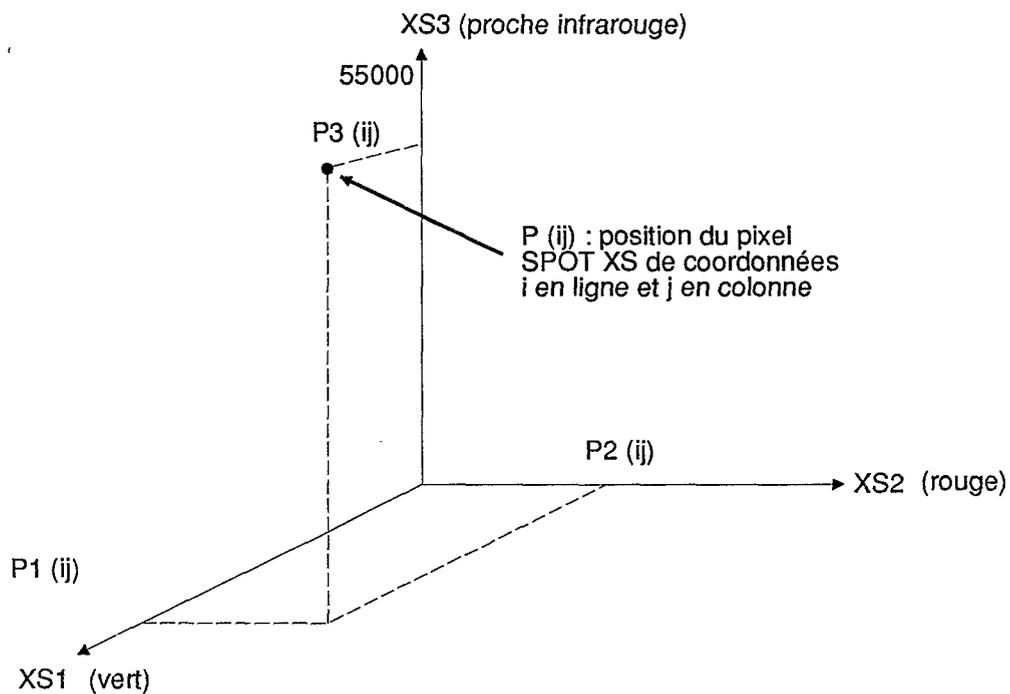


Figure 6 : Caractérisation de l'eau par seuillage du canal proche infrarouge (XS3)

