

Chapitre 5

Vers une information utile et utilisable : le traitement

*Une main sans tête qui la dirige est un
instrument aveugle ; la tête sans la main qui
réalise est impuissante.*

Claude Bernard

Dans le chapitre précédent, nous nous sommes attardés à connaître les moyens de détection nécessaires à acquérir des données par télédétection. Nous verrons maintenant comment l'information obtenue doit être traitée afin qu'elle puisse être potentiellement utile dans une perspective de prise de décision éclairée.

Différentes étapes sont nécessaires afin d'y arriver :

- une **correction géométrique et radiométrique** ;
- une mise en valeur visuelle des objets d'intérêt (surfaces, lignes, points) ;
- une visualisation des **signatures** spectrale, spatiale et temporelle ;
- une compartimentation de l'espace spectral ;
- une analyse à l'aide du numérique et du visuel ;
- une validation des résultats.

5.1. Les corrections qui s'imposent

Les contraintes liées aux **résolutions** spectrales, spatiales, radiométriques et temporelles font en sorte qu'il nous est actuellement impossible de créer un système de télédétection qui offre un produit de sortie immédiatement utilisable. Des erreurs relatives au capteur, à la **plate-forme**, à l'atmosphère et aux caractéristiques des objets analysés s'introduisent dans les informations numériques et peuvent engendrer une dégradation de leur qualité et leur applicabilité.

Les données acquises par télédétection nécessitent une série de modifications afin qu'elles soient les plus représentatives possible de la réalité. Ces modifi-

cations sont de deux ordres : géométrique et radiométrique. Des éléments tels que l'instrumentation à bord, la distorsion longitudinale liée au **champ de visée instantané** (*Instant Field of View-IFOV*) en fonction de la distance par rapport à la **visée nadirale**, la rotation et la courbure de la Terre, la variation dans l'attitude et de l'altitude de la **plate-forme** (engendrée par sa stabilité et l'irrégularité dans la sphéricité de la Terre) font en sorte que l'image obtenue par télédétection contient des éléments qui, dans une perspective d'intégration dans des SIG par exemple, doivent être pris en considération. En plus, des paramètres tels que l'**angle solaire**, la distance Terre-Soleil, la topographie, la stabilité des détecteurs en fonction du temps, différents bruits à caractère électronique (**lignage**), la **réponse spectrale relative** des capteurs ainsi que la **diffusion atmosphérique** peuvent porter ombrage à la perception de la réalité des objets terrestres. Enfin, des sources de bruit peuvent altérer les données lors de leur transmission vers la Terre et lors de leur transformation au sol.

Dans le cas des données radar, certaines distorsions particulières sont à noter. Bonn et Rochon [11] soulignent l'effet d'étirer en apparence un objet vers la source d'énergie. Ce phénomène est appelé raccourci ou rapprochement (*fore-shortening*). On parle aussi de repliement ou de déversement (*layover*) lorsque le retour du signal, provenant du sommet d'un objet, arrive avant celui de sa base. Ce phénomène se produit lorsque l'angle de pente de cet objet est plus grand que l'**angle de dépression** du radar utilisé. Ces situations entraînent un déplacement du relief. Au point de vue radiométrique, l'effet de **patron d'antenne** ainsi que l'effet de **chatoiement** (*speckle*) engendrent des perceptions erronées sur une image. Ce dernier donne cette composition dite poivre et sel que l'on observe souvent sur les images contenant des objets à **texture** grossière.

Face à ces problèmes, il faut corriger et calibrer les données de télédétection si l'on souhaite obtenir une représentation fiable de la surface terrestre.

5.1.1. Sur la géométrie de l'image

Les données brutes d'images acquises par télédétection contiennent des distorsions d'ordre géométrique suffisamment importantes pour qu'elles ne soient

pas superposables sur des données cartographiques normalement réalisées à partir de projections connues. Ces distorsions peuvent être d'ordre systématique (décalage des lignes d'enregistrement en fonction de la rotation de la Terre, vitesse de rotation variable du miroir-balayeur, effets panoramiques, variation de la vitesse de la **plate-forme**) ou non systématique (variation dans l'altitude et l'attitude de la **plate-forme**).

Dans une perspective d'application de la télédétection, il devient essentiel que la géométrie de l'image acquise par télédétection soit comparable avec celle des données d'autres sources. En conséquence, les chercheurs essaient de trouver un standard géométrique par lequel les données **multisources** seront en quelque sorte superposables. Les logiciels de **systèmes d'information géographique** qui sont développés contiennent tous une option permettant de pouvoir présenter des résultats visuels de documents numériques avec la même géométrie par l'intermédiaire notamment de projections identiques.

Plusieurs possibilités s'offrent à nous quant à la mise en forme des images de télédétection afin de pouvoir les comparer. Nous pouvons utiliser les approches dites image à image et image à carte. En général, la première est utile pour l'étude de la dynamique spatiale de phénomènes naturels ou anthropiques. La seconde est nécessaire lorsque les données numériques utiles à l'appréhension et à l'identification d'un problème sont d'origine **multisource**. Les techniques couramment utilisées pour corriger géométriquement les images ont comme assise les points de contrôle qui sont communs à l'image et à un document de référence.

Pour l'approche image à image, il s'agit simplement de faire une rotation ou une translation d'une image par rapport à l'autre jusqu'au moment où les points de contrôle coïncident. Ainsi, un objet se retrouvera au même endroit sur les deux images. Avec l'approche image à carte nous visons à rendre la géométrie de l'image acquise par télédétection semblable à celle d'une carte planimétrique. Ainsi, nous comparons les points de contrôle identifiés sur l'image avec les **coordonnées** de la carte. La méthode dite polynômiale est couramment utilisée dans ces cas. Notons que ce procédé ne tient pas compte de la topographie du terrain. Lorsque nous sommes en présence d'un territoire

ayant des amplitudes topographiques décelables, il nous faut utiliser une autre approche. Toutin et Carbonneau [72] proposent le système de rectification des images de télédétection (SRIT) basé sur des considérations photogrammétriques. Il permet, entre autres, de créer des images rectifiées (ortho-images) et des mosaïques dans un système de projection choisi par l'utilisateur. Un des intérêts de ce système est que l'on peut introduire un **modèle numérique d'altitude (MNA)** afin que la correction effectuée tienne compte de l'altimétrie. De Sève *et al.* [18] ont démontré que cette approche est particulièrement efficace pour les images radar acquises dans des environnements à forte amplitude topographique.

Toutin [71] présente une comparaison des caractéristiques des deux méthodes mentionnées ci-haut (tableau 5.1).

Tableau 5.1 : Comparaison de deux méthodes de correction géométrique.
D'après Toutin [71].

Méthode polynômiale	Méthode photogrammétrique
Ne respecte pas la géométrie de prise de vue	Respecte la géométrie de prise de vue
N'est pas relié aux causes de distorsion	Reflète les différentes distorsions
Ne tient pas compte de l'attitude	Utilise les données d'éphémérides et d'attitude
Ne corrige pas l'altimétrie	Tient compte de l'altimétrie (MNA)
Corrige localement aux points de contrôle	Corrige globalement l'image
Ne filtre pas les erreurs	Filtre des erreurs grâce à la connaissance de la géométrie
Pas de compensation simultanée d'image	Compensation simultanée de plusieurs images
Correction d'image à image pour l'intégration	Correction d'image à terrain
Nécessite beaucoup de points de contrôle (20)	Utilise peu de points de contrôle par image (3-8)
Sensible à la distribution spatiale des points de contrôle	Peu influencée par la distribution spatiale des points de contrôle
Problème de choix des points de liaison	Choix des points de contrôle en fonction de chaque image

Sur ce tableau, nous mettons en lumière la complexité du problème et l'importance que nous devons accorder aux **corrections géométriques**. Avec la venue des satellites commerciaux à haute **résolution** spatiale qui nous permettront de réaliser des cartes à grande échelle (>1 : 50 000), il devient impératif,

dans une perspective d'utilisation de données **multisources**, de s'assurer que les **corrections géométriques** nécessaires soient fiables et précises.

Comme le mentionne Toutin [71], une **correction géométrique** rigoureuse devient « un mal nécessaire pour la santé de vos résultats ».

D'un point de vue plus pratique, il est souvent recommandé d'acheter des images qui ne sont pas préalablement **géoréférencées**. Notons que plusieurs entreprises de distribution d'images offrent cette option. On y voit trois avantages :

- les données originales ne sont pas altérées et représentent vraiment ce qui est détecté au capteur ; ceci peut être pratique pour ceux ou celles qui effectuent des recherches sur la vraie **signature spectrale** des objets ;
- lorsque l'on contrôle cette opération, il devient possible de réduire encore plus les erreurs de positionnement qui sont inévitables dans un processus de rééchantillonnage ; les images préalablement **géoréférencées** ne contiennent pas toujours de l'information portant sur les causes d'erreur de positionnement ;
- si nous réalisons cette étape nous-mêmes, il est alors possible de choisir le système de référence (UTM, MTM, etc) qui convient le mieux à notre image.

Les conditions préalables pour optimiser la qualité de la correction sont les suivantes :

- trouver des points de contrôle qui sont faciles à localiser tant sur l'image à corriger que sur le document de référence ; pour les milieux habités, plusieurs éléments sont disponibles et fiables ; notons entre autres l'intersection entre deux routes, certains édifices de bonne taille, des grands stationnements ainsi que des objets ayant des **arrangements** spatiaux uniques (terrain de football) ; pour le milieu naturel, nous pouvons nous attendre à des erreurs de positionnement plus importantes ; en effet, il faut nous fier à des éléments qui sont moins évidents et dont les limites peuvent varier dans le temps ; notons par exemple les échancrures de lacs et les confluences de rivières ou de ruisseaux ; la précision de leur loca-

lisation est déterminée par la qualité, la représentativité et le niveau de détail du document de référence ;

- s’assurer d’une bonne répartition spatiale des points de contrôle sur tout le territoire couvert par l’image ; si les points sont trop regroupés dans un secteur particulier, la correction risque d’être inégale en qualité sur toute l’image ; elle sera excellente dans le secteur visé mais moyenne ailleurs ; localiser certains de ces points le plus près possible des quatre coins de l’image et un autre vers le centre ouvre la voie à de bons résultats ;
- faire un schéma du territoire couvert et y localiser les points de contrôle ; ainsi, il sera plus aisé de réexaminer leur localisation si les erreurs résiduelles de positionnement sont trop élevées.

En fonction de la qualité des algorithmes développés et du niveau de raffinement des documents de référence, il est possible d’atteindre des précisions de positionnement allant jusqu’à 1/2 **pixel**. Cependant, d’après De Sève *et al.* [18], une précision entre 1 et 2 pixels est plus réaliste, surtout si l’on effectue des corrections dans des milieux naturels topographiquement diversifiés à l’aide d’un **MNA**.

5.1.2. Sur la radiométrie de l’image

Idéalement, le flux radiant enregistré au capteur d’un satellite devrait être identique à celui de l’objet analysé. Or, la réalité est toute autre. En effet, beaucoup de bruits viennent s’ajouter au signal réfléchi ou émis par l’objet. Nous avons mentionné qu’il venait principalement des capteurs et de l’atmosphère. Pour les problèmes tels que le **lignage**, qui sont surtout perceptibles sur des surfaces homogènes comme l’eau, la plupart des logiciels d’application ont un module qui permet d’atténuer ce problème par l’intermédiaire d’algorithmes relativement simples. L’atmosphère engendre une atténuation du signal réfléchi par les objets et, en plus, elle contribue au signal reçu par le **capteur**. Plusieurs méthodes ont été développées afin de minimiser ses effets. On a modélisé différents types d’atmosphère (des milieux arctiques aux milieux tropicaux). Le modèle LOWTRAN réalisé par la marine américaine et le modèle 6S (voir Tanré *et al.* [67]) en sont des exemples représentatifs. Pour la plupart de ces

modèles nous avons besoin d'obtenir des valeurs précises, principalement sur la **luminance de parcours**, la **transmittance** atmosphérique, la **luminance hémisphérique** (diffuse), l'humidité relative et la teneur en aérosols. Des données provenant des ballons-sondes deviennent une source d'information précieuse si elles sont acquises à peu près au moment du passage du satellite.

Pour Caloz [13], les **corrections atmosphériques** demeurent une difficulté majeure pour la calibration absolue des **luminances** mesurées par l'image. On utilise souvent des modèles. Or, ne sont-ils pas des atmosphères "théoriques" au même titre qu'une ligne de régression qui exprime une tendance alors que les résidus représentent la réalité. En somme, l'utilisation des modèles a ses limites.

Les valeurs numériques que l'on trouve sont relatives et ne correspondent pas directement à des valeurs radiométriques. Pour les transformer, différents algorithmes ont été développés. Par exemple, selon Markham et Barker [42], les données de Landsat peuvent être transformées en valeurs de **luminance** grâce à l'équation suivante :

$$L = \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \right) DN + L_{\min}$$

où

L = valeur de luminance reçue au capteur ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)

L_{\max} = valeur de luminance maximale en fonction de la calibration

L_{\min} = valeur de luminance minimale en fonction de la calibration

DN = valeur numérique (DN = *Digital Number*) entre 0 et 255

Ce genre de formule permet de transformer les données reçues au **capteur** en valeurs utilisables pour des fins de comparaison et d'analyse. Robin [53] propose d'autres équations pour des capteurs tels que le HRV de SPOT et le AVHRR de NOAA. Elles sont basées sur des coefficients de calibration : le gain et le décalage (*offset*). Ces paramètres de calibration sont variables dans le temps à cause du vieillissement des **capteurs**. Pour trouver les bons coefficients de calibration, il faut se référer à la littérature la plus récente du fabricant. Bien que certaines valeurs soient proposées dans différents logiciels, une véri-

fication à la source constitue un geste prudent et souvent nécessaire. Rappelons-nous cependant que les valeurs obtenues doivent être corrigées des effets atmosphériques.

Une **correction radiométrique** absolue est, dans certains cas, incontournable, notamment pour la recherche de signature des objets à partir de l'information obtenue par les **capteurs** hyperspectraux. Bien que la fréquence d'utilisation de ce genre de **capteurs** augmentera dans les prochaines années, il faut noter que la plupart des utilisateurs de données de télédétection n'ont souvent besoin que d'une **correction radiométrique** relative afin d'améliorer la qualité visuelle de l'image. De plus, afin de normaliser l'intensité du signal dans différentes bandes spectrales, il devient utile de minimiser ces effets.

À partir du principe que les données acquises dans la bande du proche infrarouge sont peu influencées par l'atmosphère et que celles du visible y sont graduellement sensibles du rouge au bleu, Jensen [33] propose d'utiliser l'histogramme de fréquence de chaque bande pour atténuer les effets.

Par simple soustraction de la valeur la plus faible de chaque bande, il en arrive à corriger l'image. Ahern *et al.* [1] ont proposé la technique des lacs oligotrophes. Ce type de lac n'engendre pas de **réflectance**, quelle que soit la **bande spectrale**. En connaissant la **valeur numérique** que l'on retrouve sur ces lacs, nous pouvons donc en déduire qu'elle correspond à la valeur de **luminance** de l'atmosphère située entre l'objet et le **capteur**. Encore là, une simple soustraction de cette valeur pour chaque bande corrigera la situation. Cette méthode peut aussi être utilisée pour des analyses multidates. Cependant, les effets de la topographie, de l'**angle solaire** et de la variation de la distance Terre-Soleil sont toujours présents.

5.2. La mise en valeur visuelle des objets d'intérêt

5.2.1. Sur l'accentuation des contrastes

Différentes techniques de rehaussement ont été développées afin d'améliorer la qualité visuelle des **images** acquises par télédétection. Cela a été rendu nécessaire car, dans les **longueurs d'onde** courtes (fenêtres du visible), le

signal global reçu d'un territoire est banalisé par la **diffusion atmosphérique** (Rayleigh et Mie). Sur la figure 5.1, nous présentons ce problème pour une **image** ayant 256 niveaux d'information (8 bits). Sur l'histogramme de fréquence, nous remarquons donc que la plage d'information numérique a un faible étalement. La fréquence notable est surtout confinée entre les valeurs numériques 60 et 110, ce qui engendre un petit nombre de niveaux de gris et donc un faible contraste entre les objets. C'est pourquoi l'œil humain ne peut que difficilement distinguer les objets qui composent cette **image**. Ce phénomène décroît de la fenêtre du bleu à celle du rouge. Bien que notre œil ait une forte capacité à discriminer les **teintes** (intensité lumineuse variable en fonction de la **réflectance**, variation en fonction de la couleur), son habileté diminue drastiquement devant des informations aussi banalisées. D'autre part, même si l'on affirme que chaque objet a une **signature spectrale** qui lui est propre (comme nos empreintes digitales), leur similarité est parfois telle qu'il peut y avoir confusion. Les techniques de rehaussement utilisées pour le traitement numérique d'image nous viennent en aide afin d'assurer aussi une meilleure distinction entre les objets. Elles sont cependant limitées au pouvoir discriminant du **capteur** qui se traduit en bout de ligne par le mode d'enregistrement (6, 8, 16 bits). L'histogramme présenté sur la figure 5.1 comporte en effet 256 niveaux d'information (0-255). Afin de rendre cette **image** utile, il faut la rehausser. La technique la plus connue est celle de l'étirement linéaire. Il s'agit simplement de placer une valeur minimale choisie à 0 et une valeur maximale à 255. Dans cet exemple, elles sont respectivement de 60 et de 110. C'est là que la grande majorité des **pixels** est concentrée. Sur la figure 5.2, nous montrons les résultats de cette opération. Il va sans dire que la visualisation des objets et donc le potentiel d'utilisation de cette **image** se sont grandement améliorés. On peut raffiner encore plus par l'approche linéaire la qualité du produit de sortie par l'intermédiaire d'un pourcentage de saturation des valeurs à partir des valeurs extrêmes. À titre d'exemple, nous pouvons donner une valeur 0 au premier 5 % des valeurs faibles et 255 aux derniers 5 % des valeurs fortes. Le rehaussement peut aussi être sélectif. Prenons le cas d'un paysage composé de végétation et d'eau. Dans ce cas, nous trouvons un histogramme dont la distribution des **pixels** est bimodale.

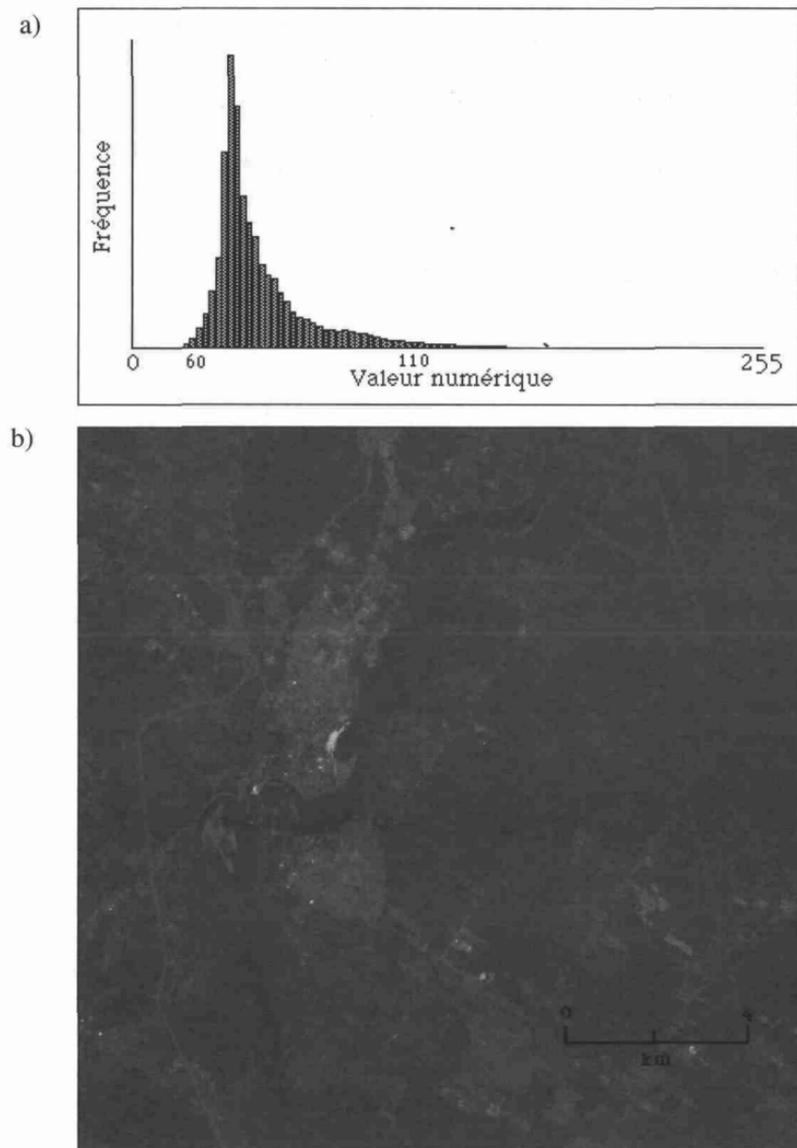


Figure 5.1. : Histogramme (a) et image brute (b) TM1 de Landsat-5 acquise le 20 août 1984 dans la région de Shawinigan, au Québec. Source : Centre canadien de télédétection.

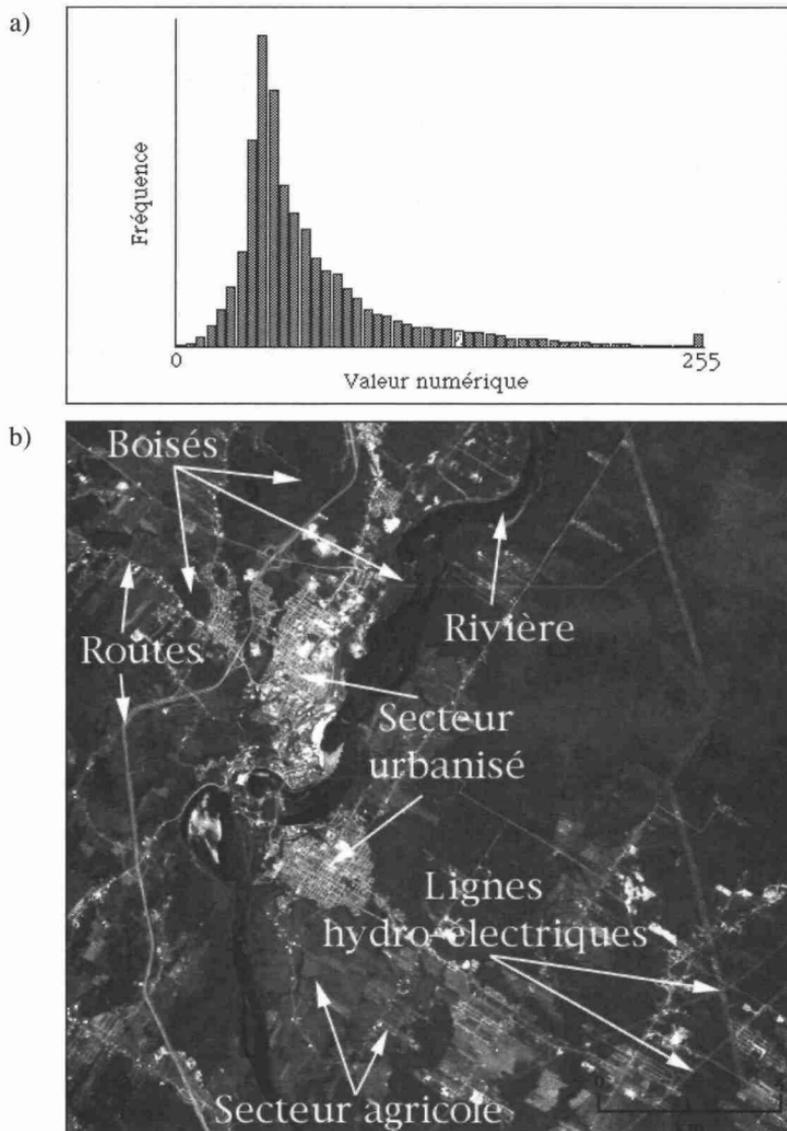


Figure 5.2. : Histogramme (a), image de Shawinigan (figure 5.1) rehaussée par étirement linéaire (b). Quelques modes d'occupation du sol sont mis en évidence.

C'est souvent ce que l'on retrouve dans les **images** infrarouges. Un identifie l'eau tandis que l'autre la végétation. Nous pouvons rehausser les contrastes de l'un ou de l'autre en segmentant l'histogramme, c'est-à-dire en ne prenant que les valeurs à l'intérieur de la limite de chaque mode. Par la suite, il est possible de jumeler ces rehaussements afin de créer une seule image avec un optimum de qualité visuelle pour les deux unités d'occupation du territoire étudié. La figure 5.3 est un exemple de rehaussement par thème. Nous avons effectivement rehaussé indépendamment l'eau et l'occupation du sol sur le même secteur mais en utilisant cette fois la bande TM4. Par la suite, nous avons jumelé ces thèmes afin de créer une nouvelle **image** dont les contrastes sont aussi informatifs pour les deux thèmes. Ce n'était pas le cas lors du premier étirement linéaire (figure 5.2).

Des techniques non linéaires ont aussi été développées. La plus connue est celle d'une répartition plus égale des fréquences de l'histogramme par isopopulation (*histogram equalization*). Théoriquement, il s'agit d'assigner un nombre de **pixels** à peu près égal pour chaque valeur numérique. D'après Jensen [33], cette approche peut réduire les contrastes dans les parties très pâles et très foncées de l'**image** dans le cas d'une distribution unimodale. Visuellement, nous devons nous attendre à une saturation des **teintes** aux extrêmes mais à un bon contraste pour la partie principale de l'histogramme (figure 5.4). Une approche logarithmique est aussi proposée. Son utilisation a pour conséquence de rehausser fortement les valeurs numériques faibles de l'histogramme. Sa fonction inverse permet de rehausser les valeurs fortes.

5.2.2. Sur la banalisation du bruit

En observant attentivement la figure 5.4, nous notons que l'**image** est affublée d'un manteau textural indésirable. En effet, nous percevons des **pixels** isolés qui ont des valeurs tout à fait différentes de celles de leur environnement immédiat.

Ce phénomène s'appelle le **chatolement** ou l'effet poivre et sel. On le retrouve sur les **images** provenant de la bande du bleu et surtout dans les hyperfréquences actives (**radar**). Pour ces dernières, la **rugosité de surface** est à l'origine du pro-

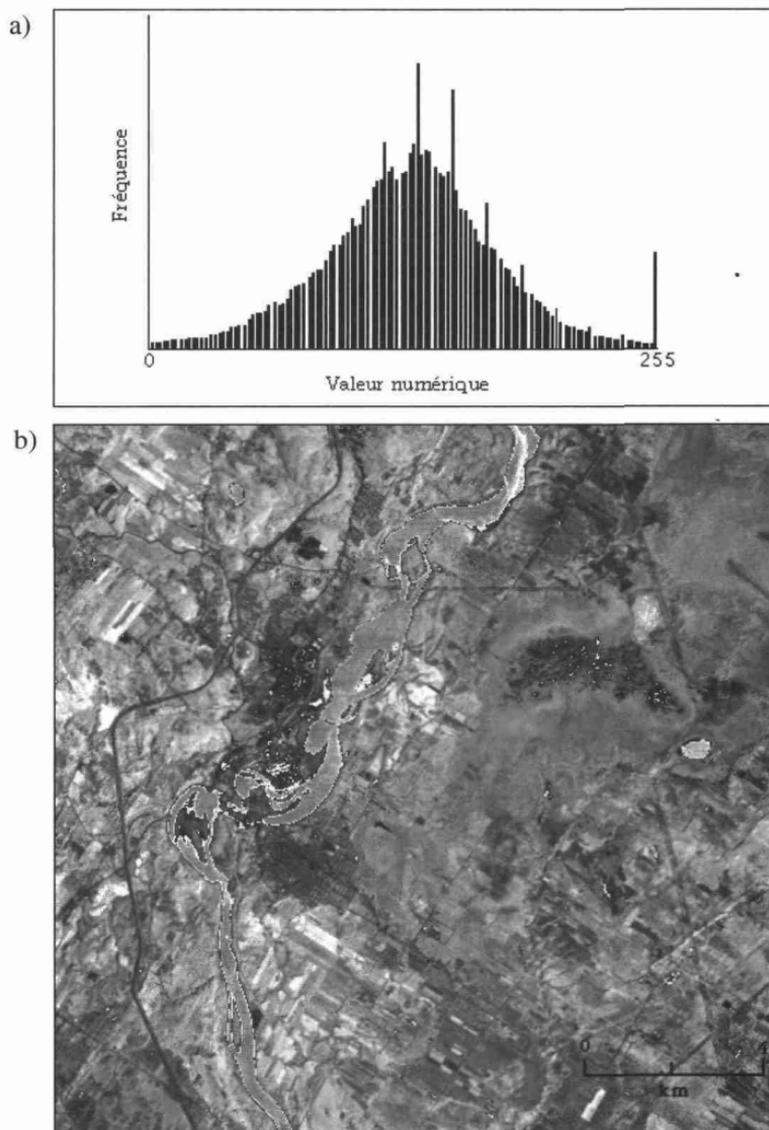
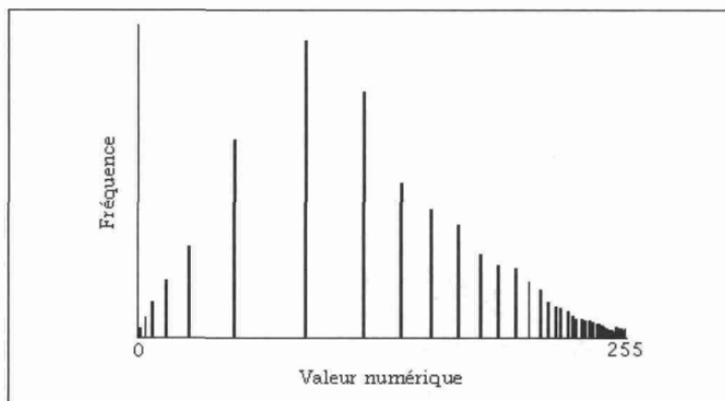


Figure 5.3. : Histogramme (a) et image TM 4 de Shawinigan rehaussée par thèmes (b).

a)



b)



Figure 5.4. : Histogramme (a) et image TM 1 de Shawinigan rehaussée par isopopulation (b).

blème. Ce type de **bruit** (haute fréquence spatiale) peut être atténué par des filtres qui permettent de les éliminer en ne conservant que les basses fréquences spatiales c'est-à-dire les **pixels** qui n'ont que peu de changements de **valeur numérique** dans l'espace. Ces filtres sont appelés passe-bas.

Nous y reviendrons à la section 5.2.3. Les plus connus sont le filtre moyen et le filtre médian.

Leur niveau d'efficacité dépend de la dimension du filtre et des caractéristiques spatiales des objets sur l'**image**. Plus on augmente la dimension du filtre (3 x 3, 5 x 5, 11 x 11), plus nous devrions obtenir une atténuation du **bruit**.

Le filtre moyen effectue bien son opération de **lissage**. Cependant, il engendre une **image** embrouillée car il lisse tout, même les arêtes des objets. Quant au filtre médian, son efficacité n'est pas entachée de ce problème. Il garde distincte les limites de contour des objets. Sur la figure 5.5, nous proposons une comparaison visuelle du résultat de l'utilisation des deux filtres sur la même **image**.

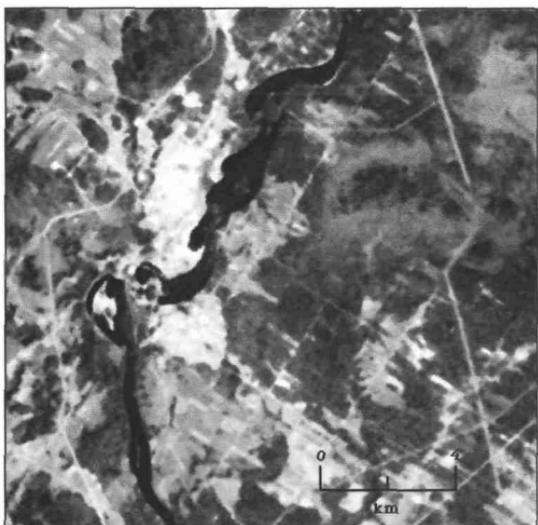
D'autres avenues sont possibles afin d'éliminer les hautes fréquences spatiales par l'intermédiaire de filtres linéaires. Eastman [24] propose un filtre gaussien et un filtre mode. Les résultats visuels se situent entre le filtre moyen et le filtre médian.

Dans le cas des **images radar**, l'approche est particulière. Bien que l'on puisse éliminer l'effet de **chatoiement** par l'intermédiaire du filtre médian avec un certain succès, il n'en demeure pas moins que l'utilisation de ce filtre sur des **images radar** peut altérer les arêtes des objets. En conséquence, des filtres particuliers ont été développés pour ce genre d'image. Les plus connus sont les filtres de Lee et de Frost (sous différentes versions ou adaptations). Les recherches se poursuivent sur les techniques de filtrage.

Certaines formes de **bruit** se retrouvent systématiquement sur des **images**. Il s'agit du **lignage** (*striping*). Il est provoqué par la dérive des valeurs initiales de la calibration des **capteurs** et une modification dans leurs réponses spectrales. Visuellement, ce phénomène se manifeste au niveau spectral dans les fenêtres couvrant les petites **longueurs d'onde** (surtout dans le bleu et le vert)



Filtre moyen 5 X 5



Filtre médian 5 X 5

Figure 5.5. : Utilisation des filtres moyen et médian sur l'image TM 1 de Shawinigan présentée à la figure 5.4.

et au niveau spatial dans des secteurs où les **valeurs numériques** sont assez homogènes. L'eau constitue un excellent contexte naturel pour la manifestation de ce phénomène. Pour des raisons techniques liées à la conception des **capteurs**, cette forme de **bruit** peut, par exemple, se manifester d'une façon horizontale pour certaines données MSS et TM de Landsat et verticale pour certaines données de SPOT. Sur la figure 5.6, nous illustrons ce problème sur une portion d'**image** rehaussée spectralement. Elle montre en effet que le **lignage** se manifeste surtout dans l'eau. Il est moins perceptible sur les surfaces solides comme le sol au nord-ouest ou la glace au centre nord de l'**image** (surface blanche). Notons que, dans cet exemple, la modification des valeurs causée par ce problème se manifeste à toutes les 16 lignes, ce qui correspond au nombre de détecteurs du **capteur** TM de Landsat-5.

Il est possible d'atténuer, voire même de faire disparaître ces effets à l'aide de différentes fonctions mathématiques connues. Ne retenons que la transformée de Fourier qui, d'après Robin [53], est une méthode linéaire globale visant à analyser les fréquences spatiales. Elles se définissent comme étant la manière selon laquelle les **valeurs numériques** (et, *a fortiori*, les **teintes** de gris) des **pixels** changent par rapport à leurs voisins. Si la variation des valeurs est faible, nous sommes alors en présence de basses fréquences. Une variation drastique d'un **pixel** à l'autre est caractéristique des hautes fréquences.

Cette opération engendre une vision bidimensionnelle de dispersion des fréquences spatiales (spectre de Fourier), les basses fréquences étant au centre et les hautes fréquences en périphérie. Dans l'exemple présenté, le **lignage** horizontal est un exemple de haute fréquence spatiale. Il se manifeste dans le spectre de Fourier par une composante verticale. Pour éliminer ce **bruit**, un filtre est utilisé pour masquer ces hautes fréquences. La résultante peut être présentée visuellement en effectuant l'inverse de la transformée. Des auteurs tels que Lillesand et Kiefer [39] et Jensen [33] proposent une analyse plus exhaustive de cette opération.

D'après Eastman [24], une élimination de ce type de **bruit** est aussi possible par l'**analyse en composantes principales** (ACP). Comme nous le verrons plus loin, elle est souvent utilisée pour éliminer la redondance entre les bandes



Figure 5.6. : Sous-image TM 2 de Landsat-5 acquise le 17 avril 1985 au-dessus de l'entrée du lac Saint-Pierre situé à environ 130 km au nord-est de Montréal, au Québec.

spectrales d'origine. Elle peut aussi servir à isoler le **bruit** d'une **image**. L'expérience démontre qu'il est toujours confiné dans les composantes qui ne comptent qu'un minimum de variance. Sur la figure 5.7, nous voyons comment le **lignage** est concentré dans la composante principale no 6 alors que la composante no 1 exprime les variances de l'occupation du sol.

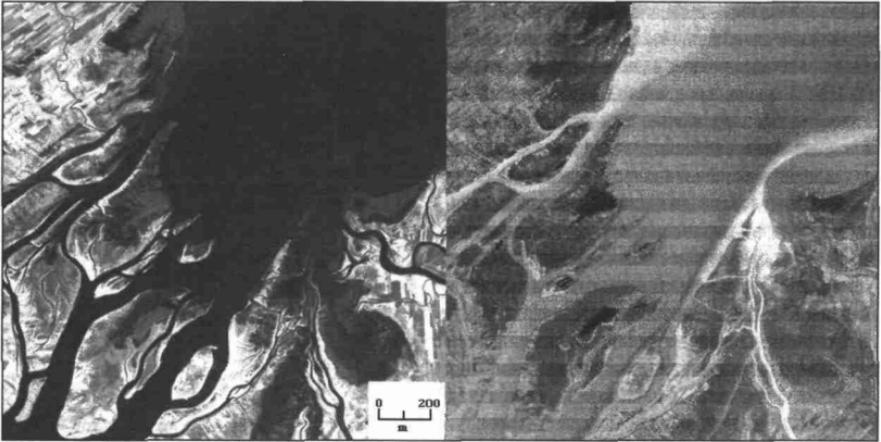


Figure 5.7. : Composantes principales 1 et 6 des bandes TM1, 2, 3, 4, 5 et 7 de la sous-image du 17 avril 1985 acquise au-dessus de l'entrée du lac Saint-Pierre, au Québec.

Avant d'élaborer sur les thèmes de généralisation des unités spatiales et de l'isolation d'objets spécifiques, il nous apparaît pertinent de présenter le concept du filtre. Notons d'abord qu'un filtre est associé à toute forme d'opération (numérique ou analogique) visant à éliminer des informations indésirables. En télédétection, il aide à faire ressortir certains éléments ou caractéristiques des composantes d'une image dans le but de favoriser une meilleure détection. Ainsi, leur analyse en sera facilitée. Il existe deux grandes familles de filtres : analogiques et numériques.

Le plus connu des filtres analogiques est utilisé pour la prise des photographies aériennes. Il coupe systématiquement les **longueurs d'onde** inférieures au jaune c'est-à-dire surtout celles du bleu. Ainsi, il atténue fortement les effets de **diffusion** de l'atmosphère dans les petites **longueurs d'onde**, favorisant ainsi une accentuation des contrastes sur la photographie. Il s'agit du filtre jaune que l'on pose généralement sur la lentille de la caméra ou parfois sur le film lui-même.

Pour le volet numérique, on divise les filtres en deux catégories : spectral et spatial. Le filtre spectral bloque ou laisse passer l'énergie, en fonction des fenêtres avec lesquelles nous souhaitons travailler. Il intervient aussi sur la

limite des **valeurs numériques** que l'on souhaite étudier. Un masque est en quelque sorte un filtre spectral qui permet d'isoler une partie de ces valeurs afin d'étudier de façon indépendante différents thèmes d'occupation du sol par exemple. En ce qui concerne le filtre spatial, il dépend de la fréquence spatiale, c'est-à-dire du comportement des **valeurs numériques** sur une **image**.

Techniquement, lorsque l'on fait courir un filtre sur une base d'information numérique, il en résulte une nouvelle matrice d'information qui peut être transformée en **image** en remplaçant les **valeurs numériques** résultantes par des niveaux de gris. En fait, un filtre calcule des nouvelles valeurs par l'intermédiaire d'une opération mathématique sur un **pixel**, tout en prenant en compte la valeur de ses voisins. Pour un filtre spatial, l'opération est appelée convolution. Elle se définit comme étant l'action de passer une fenêtre mobile sur une **image**, ce qui engendre la création d'une nouvelle **image** où la valeur de chaque **pixel** est fonction de celle trouvée sur l'**image** d'origine et des coefficients inscrits dans la fenêtre qui est choisie par l'opérateur.

5.2.3. Sur la généralisation des unités spatiales

À la section précédente, nous nous sommes attardés à l'utilisation de filtres afin de banaliser le **bruit** inhérent à certaines **bandes spectrales**. Ces mêmes filtres ont comme avantage de généraliser des unités spatiales (voir figure 5.5). Dans ce cas, ce genre de filtre rehausse les fréquences spatiales ne variant que faiblement sur un bon nombre de **pixels** c'est-à-dire les basses fréquences. C'est le cas, par exemple, d'un champ en culture. Avec un filtre moyen ayant une dimension de 3 x 3, pour chaque **pixel** filtré, l'opération de convolution s'effectue telle que nous l'illustrons sur la figure 5.8.

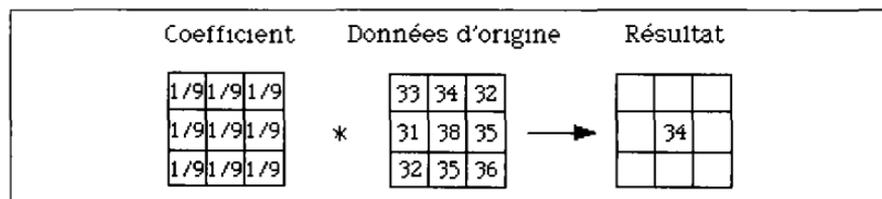


Figure 5.8. : Représentation du filtre moyen et résultat.

Dans ce cas-ci, la valeur centrale du **pixel** d'origine est remplacée par la valeur résultante de l'opération suivante : $(1/9 * 33) + (1/9 * 34) + (1/9 * 32) + (1/9 * 31) + (1/9 * 38) + (1/9 * 35) + (1/9 * 32) + (1/9 * 35) + (1/9 * 36) = 34$. L'opération s'effectue ainsi pour tous les **pixels** composant l'**image**. La dimension du filtre peut être variable (ex : 5 x 5, 11 x 11, 33 x 33). Plus le filtre est de grande dimension, plus la généralisation est prononcée.

D'autres filtres passe-bas ont été développés afin de répondre aux besoins d'une meilleure visualisation des unités spatiales. Eastman [25] propose le filtre médian qui remplace le **pixel** central d'origine par la valeur médiane des données contenues dans la fenêtre. Rappelons qu'il a comme avantage sur le filtre moyen de conserver les arêtes, c'est-à-dire le contour des objets. Il est aussi possible d'utiliser le filtre mode qui assigne au **pixel** central la valeur la plus commune que l'on retrouve dans la fenêtre. Un filtre gaussien peut être appliqué aux données d'origine. Il présente des résultats visuels souvent similaires au filtre moyen. Enfin, un filtre que l'on nomme filtre de *Lee* modifié (*adaptive box filter*) est disponible sur plusieurs logiciels. D'après Jensen [33], il est basé sur le principe que, si la valeur d'un **pixel** dans une fenêtre dévie de plus d'un ou de deux écarts-types (selon la limite imposée par l'opérateur), il est remplacé par la valeur moyenne des **pixels** contenus dans cette fenêtre. Il est particulièrement utile pour enlever l'effet de **chatoiement** que l'on retrouve sur les **images radar**. Sur la figure 5.9, nous montrons l'efficacité de ce filtre sur une **image radar**. L'**image** de gauche (a) correspond à une **image** corrigée géométriquement et rehaussée visuellement par l'approche linéaire avec saturation. L'**image** de droite (b) est une conséquence de l'application d'un filtre de *Lee* modifié de dimension 7 x 7. Les résultats montrent une grande amélioration quant à la qualité visuelle générale de l'**image**.

5.2.4. Sur l'isolement d'objets spécifiques

Si la variation des **valeurs numériques** est élevée sur un petit nombre de **pixels** consécutifs (ou une courte distance géographique), on traite de haute fréquence. La route en est un exemple type. Un filtre passe-haut bloquera les basses fréquences afin de ne révéler visuellement que les hautes fréquences. Il peut être directionnel ou non directionnel. À titre d'exemple, une convolution

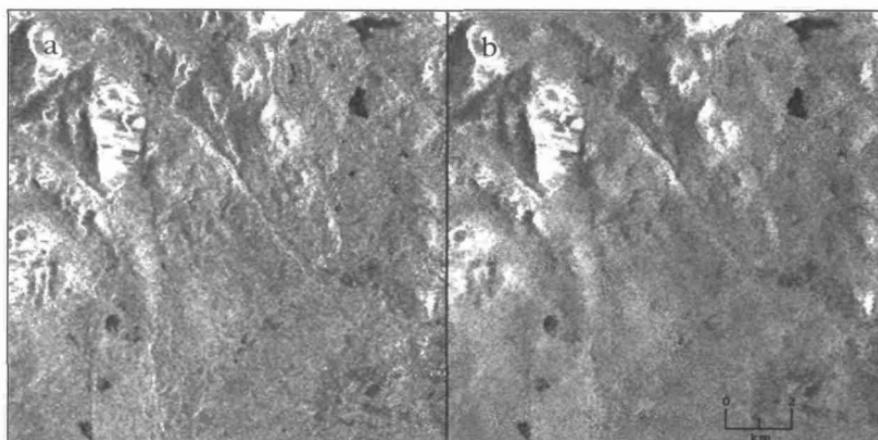


Figure 5.9. : Image radar RSO de ERS-1 d'un secteur de la région de Charlevoix, au Québec. Il se situe à environ 340 km au nord-est de Montréal. L'image a) est rehaussée mais non filtrée. L'image b) est filtrée afin d'atténuer l'effet de chatoiement.

laplacienne et un filtre Sobel ont été réalisés à partir des matrices 3×3 comme l'indique la figure 5.10 a). La figure 5.10 b) contient les deux exemples de filtre passe-haut. Ils laissent clairement ressortir deux niveaux d'information différents. L'**image** de gauche représente l'utilisation d'un filtre laplacien (sans direction préférentielle) qui a été ajouté à l'**image** d'origine. Celle de droite est le résultat du passage d'un filtre directionnel de type Sobel avec un gradient de direction nord-ouest sur la même image d'origine. Il est à noter le rehaussement visuel d'objets spécifiques tels que les rues de la ville (à gauche) et les limites de la rivière (à droite).

D'autres filtres directionnels ou non sont utilisables en télédétection. Pour les rehaussements des arêtes (éléments à tendance linéaire), notons les filtres directionnels de Prewitt et de Kirsch (Levine [38]).

Il existe enfin des filtres à vocation particulière. En voici un exemple. De la morphologie mathématique peut découler des filtres morphologiques. Robin [53] mentionne que des éléments structurants, de formes diverses qui sont décidés par l'opérateur jouent ni plus ni moins le rôle de filtre spatial car ils rehaussent des groupes de **pixels** qui correspondent à ces éléments structurants

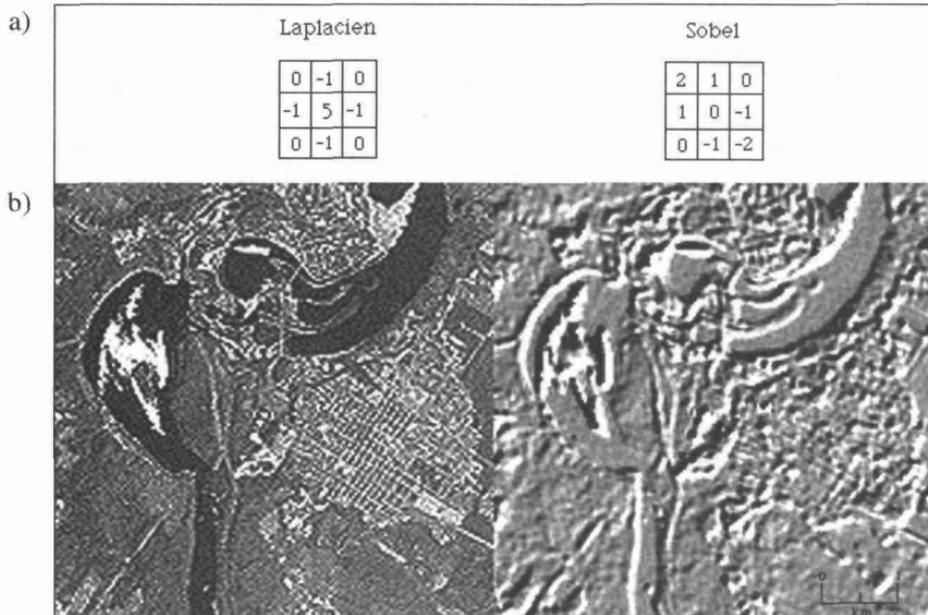


Figure 5.10. : Sous-image TM3 de la région de Shawinigan, au Québec, acquise le 20 août 1984 et modifiée par un filtre laplacien (à gauche) et directionnel de Sobel (à droite).

préétablis. Les opérations d'**érosion** et de **dilatation** sont possibles. Elles engendrent un amincissement ou une amplification des formes. Cette approche offre beaucoup de potentiel notamment pour l'identification des changements en milieu urbain. Citons par exemple les travaux de Maupin *et al.* [43].

5.3. Les signatures spectrale et spatiale

5.3.1. La signature spectrale des grandes composantes terrestres

La télédétection ne permet de capter directement que les **signatures spectrales** des objets. C'est en quelque sorte un code d'identification qui est propre à chaque objet. En théorie, il n'y a pas de **signatures spectrales** qui soient par-

faitement identiques au même titre que les empreintes digitales des êtres humains. Il est cependant important de noter à ce moment que la signature des objets variera en fonction de paramètres tels que l'**élévation solaire**, l'**angle de visée** et la précision spatiale et spectrale du **capteur** ainsi que la **forme**, la taille, la **texture** et l'**arrangement** des objets. Ces signatures ou particularités spectrales peuvent être classées en trois grandes catégories : l'eau, la végétation et les surfaces minérales.

Les instruments développés pour capter les informations provenant des objets terrestres ne peuvent être performants que pour détecter les trois ensembles fondamentaux que l'on trouve à la surface de la Terre. Il s'agit de la terre, de l'eau et de la végétation. De plus, ils ne peuvent à l'origine que détecter leur **énergie réfléchie** ou **émise**, ce qui correspond dans les faits aux valeurs spectrales des **pixels** qui les composent. L'identification même des sous-ensembles nécessite d'autres paramètres tels la **forme**, la taille, la **texture** et l'**arrangement**.

Lorsque l'on traite de signature spectrale, on ne fait référence qu'à la quantité d'énergie qui provient d'un objet et qui est détectée par un capteur en fonction de la longueur d'onde. C'est comme une empreinte digitale qui est propre à cet objet.

Les **capteurs** hyperspectraux disponibles aujourd'hui permettent de présenter avec grande précision les **signatures spectrales** de plusieurs objets terrestres. Une grande quantité de banques de signatures existe dans la littérature et sur des sites Internet. Les quelques exemples qui suivent confirment cette variété de signatures. Il est important de noter que pour celles qui sont présentées ici, il n'y a pas d'effet dû à l'atmosphère.

L'eau de mer n'a qu'une signature très faible, dans les petites **longueurs d'onde**. La figure 5.11, montre qu'elle dépasse rarement 5 % de **réflectance** dans les ondes visibles et dans l'infrarouge réfléchi. Pour les ondes thermiques, l'énergie émise, qui est en fait sa signature, dépend de sa température. Il faut noter, qu'à cause de la très grande portée de l'énergie détectée, les valeurs, dans le graphique, sont représentées sous forme logarithmique.

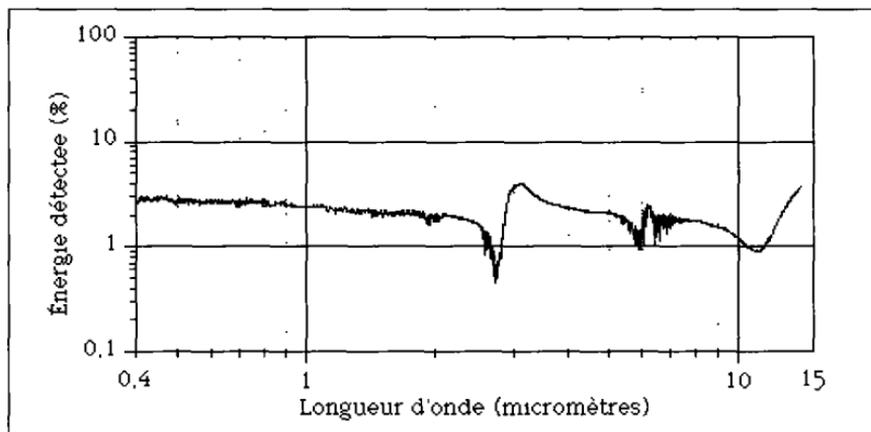


Figure 5.11.: Signature spectrale de l'eau de mer. Source : Aster spectral library/NASA.

Signalons qu'une eau turbide présente une signature fort variable. Elle est déterminée par les constituants en suspension près de ou à la surface.

La **signature spectrale** de l'eau peut se comporter d'une façon différente lorsqu'elle est sous forme solide, que ce soit de la neige ou de la glace. Sur la figure 5.12, nous soulignons cette différence. Il est à remarquer la forte **réflectance** de la neige dans le visible et le proche infrarouge à l'exception des deux bandes d'absorption situées entre 1 et 2 μm . Quant à la glace, elle se comporte de la même façon que l'eau de mer à l'exception que l'énergie détectée est légèrement plus élevée et que l'amplitude entre les valeurs est parfois plus grande. Tout comme l'eau de mer, notons la forte absorption dans la zone où la **longueur d'onde** varie de 2,5 à 2,9 μm .

Sur la figure 5.13, nous représentons la **signature spectrale** de différents types de végétaux que l'on peut trouver couramment. Elle illustre aussi l'impact de l'eau sur le comportement spectral de ces éléments. En effet, pour le gazon sec, le pourcentage d'énergie reçu au **capteur** est nettement plus élevé dans la plupart des **longueurs d'onde**. Les courbes de **réponse spectrale** des trois autres unités correspondent au comportement normal de la courbe de **réponse spectrale** générale de végétation présentée par Lillesand et Kiefer [39].

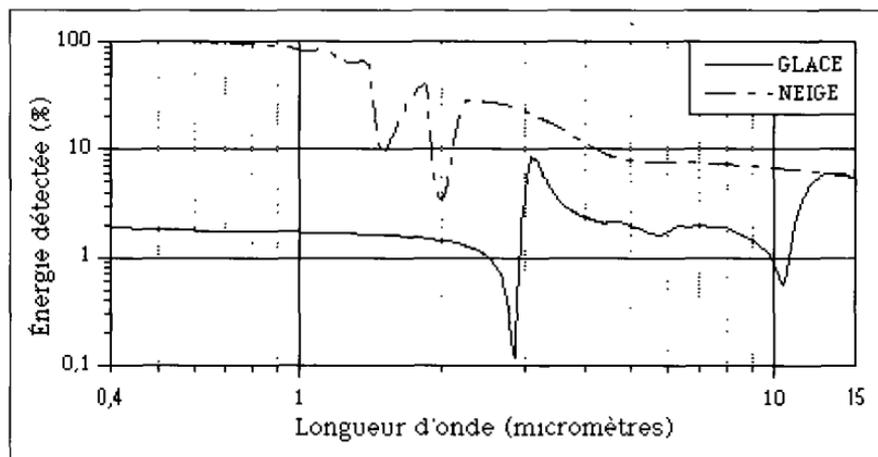


Figure 5.12. : Signature spectrale de la glace transparente et de la neige à grain moyen.
Source : Aster spectral library/NASA.

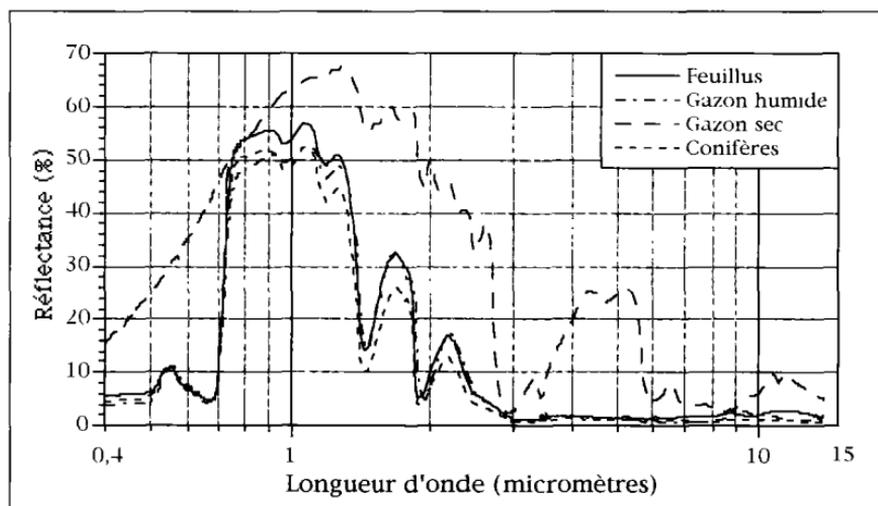


Figure 5.13. : Signatures spectrales de différents types de végétation.
Source : Aster spectral library/NASA.

L'effet atténuateur de l'eau dans les objets terrestres se manifeste aussi au niveau des sols. Sur la figure 5.14, nous illustrons la différence d'énergie détectée entre un sol sec (ex : sable dunaire) et un autre pouvant contenir une bonne quantité d'eau (ex : argile brune). Il faut cependant noter que l'impact de la présence de l'eau se manifeste surtout dans les ondes **réfléchies**, c'est-à-dire entre 0,4 et 2,5 μm . Elle n'est pas pour autant négligeable dans les **longueurs d'onde** plus grandes. Dans ce cas, c'est surtout le bilan thermique à l'épiderme de l'objet qui détermine la quantité d'énergie émise et détectable.

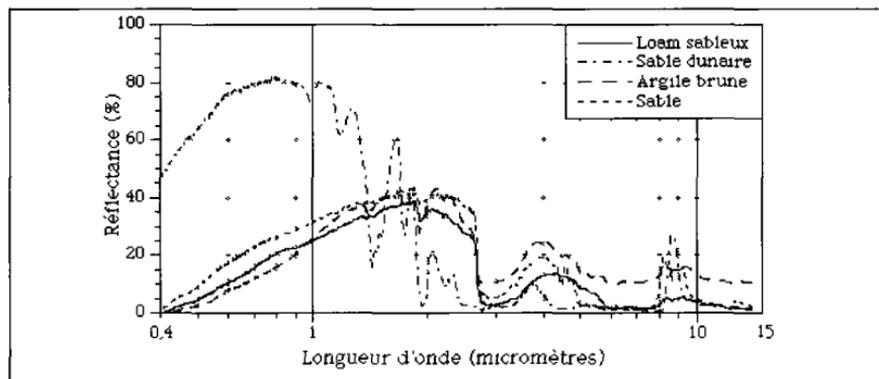


Figure 5.14. : Signatures spectrales de différents types de sols.
Source : Aster spectral library/NASA.

Pour les hyperfréquences actives, nous pouvons difficilement utiliser le terme de **signature spectrale** en tant que tel, car les **capteurs** développés actuellement fonctionnent rarement avec plus d'une **bande spectrale**. Nous retrouvons plus souvent le terme **signal** d'un objet. Il est grandement influencé par la rugosité de surface de la cible ainsi que par ses propriétés diélectriques. En fonction du temps, les **signatures spectrales** se modifient. Quelques auteurs utilisent l'expression signature temporelle. L'exemple que l'on peut retenir est celui de l'évolution **phénologique** d'un couvert végétal tel que proposé dans Robin [53]. Il est cependant intéressant de noter que la vision de la Terre en fonction de la signature temporelle des objets est particulièrement utile pour le suivi de l'évolution de phénomènes catastrophiques tels que la désertification par l'intermédiaire des **indices de végétation**.

Grâce aux images des satellites météorologiques, il est possible de suivre ce phénomène à partir d'une base de données étalée sur près de 30 ans. À titre indicatif, sur la figure 5.15, nous présentons sur une base annuelle le suivi temporel de la **signature spectrale** dans certains secteurs de l'Afrique. Dans le cas de la partie nord du delta du Nil, notons la grande variation de la valeur de l'indice de végétation normalisé (*NDVI*). Par contre, dans le désert de Nubie, nous constatons des valeurs relativement faibles et égales tout au long de l'année. Entre ces deux extrêmes, notons des variations dans le temps qui sont surtout dépendantes de la latitude et de l'altitude des secteurs étudiés.

Dans un autre ordre d'idées, il arrive parfois que nous retrouvions dans la littérature l'expression **signature spatiale**. Nous avons tout intérêt à l'utiliser à l'aube d'une importante transformation dans l'analyse des images, surtout avec l'arrivée des satellites équipés de **capteurs** haute **résolution** spatiale. Le retour de l'approche qualitative dans l'interprétation (jumelée avec le traitement numérique préalable) nous incite à se remémorer les grands principes de la photo-interprétation.

Gagnon [29] mentionnait que la **forme**, la taille, la **teinte**, la **texture** et l'**arrangement** constituaient les variables les plus importantes pour l'identification et l'analyse d'une photographie. Robin [53] définit la **signature spatiale** de la façon suivante : il s'agit de « l'**arrangement** caractéristique des parties d'un objet permettant de l'identifier ». Cette définition implique aussi, selon nous, les aspects de la **forme**, de la taille et de la **texture** des objets. Les deux premiers sont surtout associés au contenant (limite, morphologie). Le troisième est surtout lié au contenu, c'est-à-dire à un ensemble de **pixels**, ayant des valeurs spectrales identiques ou très semblables, qui forme une unité spatiale au niveau de la **teinte** sur une **image**. À la lumière de ces informations, nous pourrions reformuler la définition de la **signature spatiale**.

Lorsque l'on traite de signature spatiale d'un objet, on fait référence à ses caractéristiques morphologiques, structurelles et dimensionnelles. Il s'agit donc d'abord de son enveloppe externe, plus communément appelée contenant. À cela s'ajoutent les caractéristiques du contenu, lequel est identifié par sa texture.

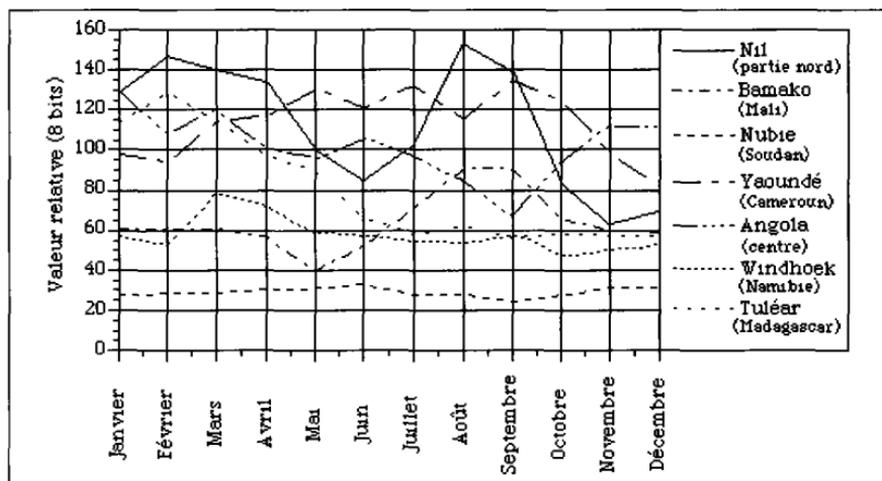


Figure 5.15. : Indice normalisé de végétation pour différentes régions de l'Afrique en 1987. Source : United States Geological Survey (USGS).

Pour bien identifier la **signature spatiale** des objets, il est nécessaire que « l'échelle (ou la **résolution spatiale**) du document soit bien adaptée à la thématique » (Robin [53]). Ce n'est que dans ce contexte qu'il sera possible de réaliser une interprétation précise et utile. Dans le cas des milieux urbains et d'une identification fine des essences forestières, par exemple, il est difficile encore aujourd'hui d'obtenir une **signature spatiale** qui convienne aux besoins des décideurs et des planificateurs. Le tournant du siècle apportera cependant les outils nécessaires qui serviront à repousser cette barrière spatiale jusqu'à des échelles comparables à celles des photographies aériennes couramment utilisées. Sur la figure 5.16 nous donnons un aperçu des possibilités qui s'offriront à nous bientôt au plan satellitaire. Il s'agit d'une image infrarouge aéroportée acquise le 20 août 1984 à 10h30, heure locale. Elle a une **résolution spatiale** de 3 m. Sa finesse spatiale est remarquable et nous permet d'identifier des **formes**, des **tailles**, des **arrangements** et des **textures** différentes.

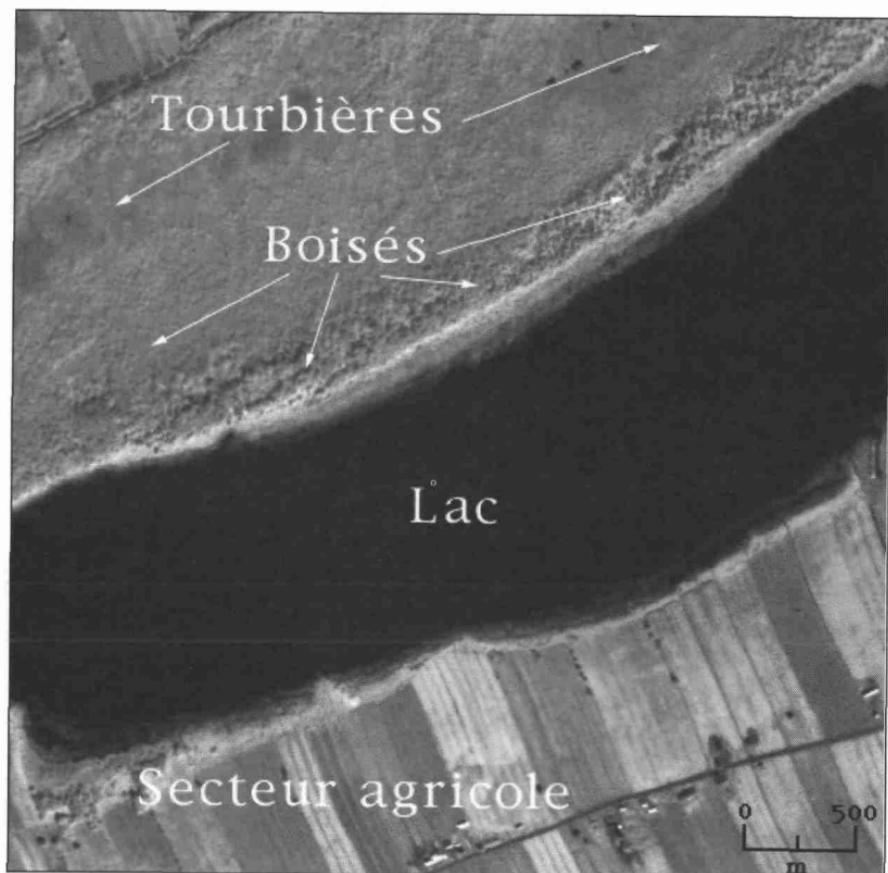


Figure 5.16. : Image infrarouge aéroportée à haute résolution spatiale acquise le 20 août 1984 au-dessus d'un milieu rural, près de Trois-Rivières, au Québec.

5.3.2. Les méthodes de compartimentation de l'espace spectral

Utiliser l'expression espace spectral indique la voie à suivre pour en arriver à bien informer le lecteur sur les informations que l'on peut extraire à partir d'images **multibandes**. L'acquisition des données dans différentes **bandes**

spectrales et l'amalgame de celles-ci constituent les deux étapes à franchir afin de rendre la télédétection utile, voire même indispensable dans certains cas comme dans l'analyse de territoires difficilement accessibles. Naturellement, plusieurs objets terrestres sont identifiables sans un besoin excessif de traitement. Souvent, un rehaussement de contraste sur toute l'**image** étudiée suffit à répondre à des besoins de connaissances de base. Il est aussi possible de détecter des objets qui sont parfois plus petits que la dimension d'un **pixel**. C'est le cas des routes lorsque leur signature spectrale dans différentes bandes est nettement contrastée avec les unités d'occupation du sol environnantes.

L'omniprésence d'information sur les **images multibandes** fait souvent en sorte qu'il devient difficile d'extraire celle souhaitée parce qu'elle ne ressort pas suffisamment de l'environnement spectral dans lequel elle se trouve. Nous devons alors recourir à des méthodes d'extraction qui ont une assise mathématique ou statistique. C'est le cas des rapports de bandes et de l'**analyse en composantes principales**. Il y a donc transformation des données d'origine.

A) Les rapports de bandes

L'utilité première de l'approche par rapport de bandes réside dans le fait que les effets d'illumination sont grandement réduits. Cette opération devient parfois nécessaire lorsque les valeurs spectrales d'une zone homogène contiennent des différences dues aux effets combinés de l'**angle solaire** et de la topographie. Des effets d'ombrage indésirables modifient donc les valeurs et engendrent des interprétations erronées. Dans un autre ordre d'idées, l'utilisation du rapport de bandes permet de relever les différences spectrales subtiles d'objets ou cibles sur une **image**. D'après Lillesand et Kiefer [39], plusieurs combinaisons sont possibles. Bien que certaines soient bien connues (bande infrarouge/bande rouge pour la végétation, bande rouge/bande bleu pour la reconnaissance de formations géologiques), il faut reconnaître que nous devons expérimenter ces rapports en fonction de nos objectifs d'extraction et des bases de données mises à notre disponibilité. La variation parfois forte des valeurs spectrales pour un objet en fonction du moment de l'année et de la physiographie du paysage fait en sorte que la stratégie essai-erreur demeure enco-

re la voie à suivre. Elle est cependant balisée par le niveau de corrélation entre les bandes.

En effet, plus la corrélation est faible, plus il est possible d'extraire de l'information. Sur la figure 5.17, nous présentons quelques exemples d'images résultant de l'utilisation de l'approche par rapport de bandes simples. Cette figure illustre comment certains rapports de bandes peuvent nous aider à extraire des informations pertinentes, parfois difficilement détectables à partir d'une seule bande. Le résultat du rapport de bande TM 3/TM 4 (a) suggère une bonne concentration de sédiments en suspension au sud de l'île. Le rapport (TM 3/TM 6) (b) illustre bien les résidus de glace (en blanc) ainsi que de la matière en suspension dans l'eau qui passe cette fois au nord de l'île.

Les rapports TM 4/TM 5 (c) et TM 4/TM 7 (d) ne donnent pas d'information supplémentaire ou complémentaire significative. :

Il existe un domaine où le développement d'indices a suscité énormément d'intérêt. Il s'agit de la végétation. Selon Bannari [4], une quarantaine d'indices ont été développés jusqu'à maintenant. Le plus connu est le *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*) ou indice de végétation normalisé (IVN). Proposé par Rouse *et al.* [55], il est basé sur la forte différence de comportement du **rayonnement électromagnétique** face à la chlorophylle dans les bandes du rouge et de l'infrarouge. Il y a une forte **absorption** par les pigments des feuilles (principalement par la chlorophylle) dans le rouge. Au contraire, il y a une forte **réflexion** dans l'infrarouge, laquelle est principalement due à la diffusion de l'énergie au niveau de la structure cellulaire des feuilles. En conséquence, l'indice sera d'autant plus élevé qu'il y aura de la végétation. L'équation peut s'écrire ainsi :

$$NDVI = \frac{Pr\ IR - R}{Pr\ IR + R}$$

où Pr IR = proche infrarouge et R = rouge.

La figure 5.18 présente une image d'indice *NDVI* pour un environnement froid tempéré humide. Elle illustre l'intensité des valeurs en fonction de la présence de la végétation.

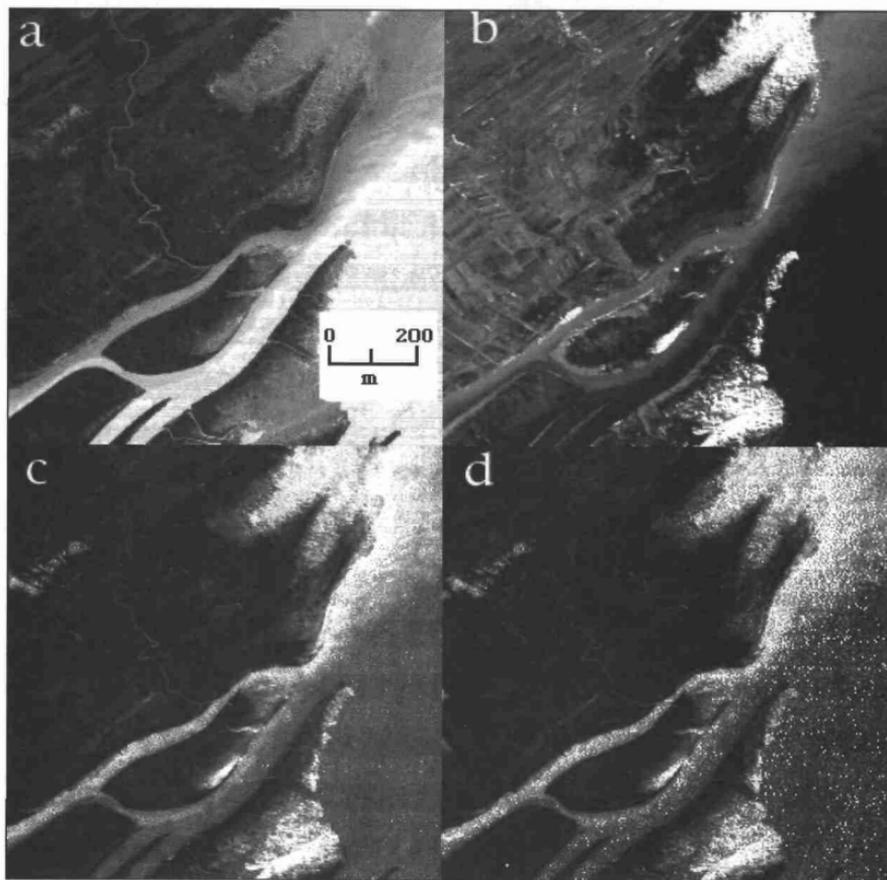


Figure 5.17. : Quatre rapports de bandes pour un territoire situé sur le côté sud-ouest du lac Saint-Pierre, au Québec: a) TM 3/TM 4, b) TM 3/TM 6, c) TM 4/TM 5, et d) TM 4/TM 7. L'image TM de Landsat-5 a été acquise le 17 avril 1985

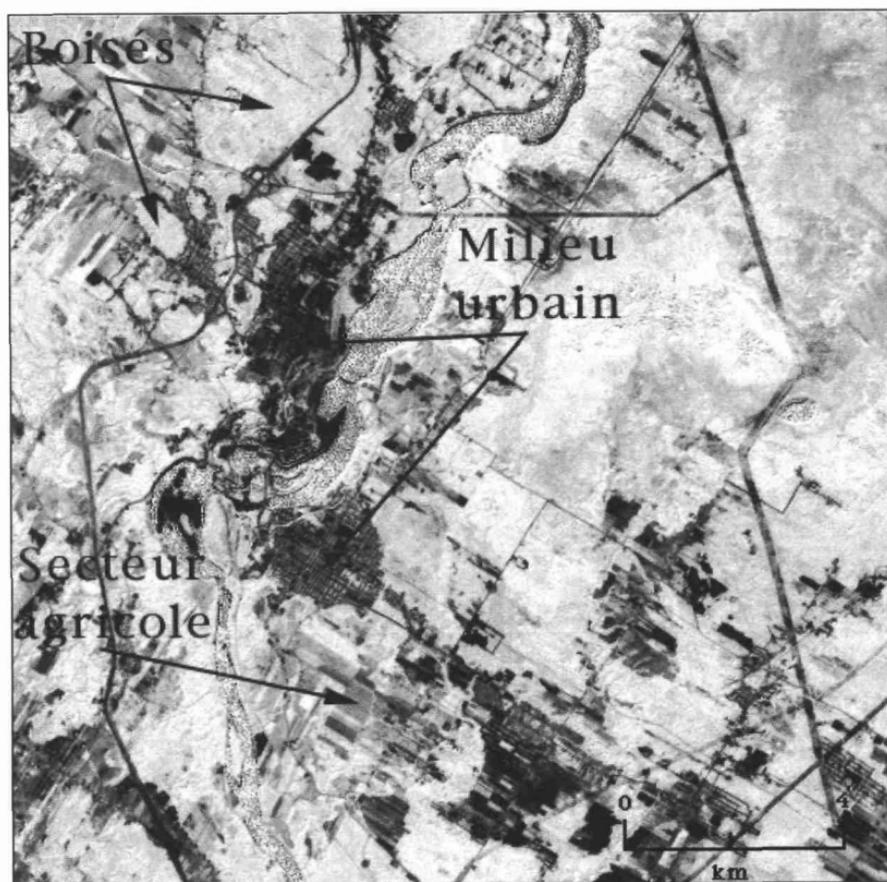


Figure 5.18. : Image NDVI de la région de Shawinigan, au Québec, à la fin du mois d'août 1984

L'exemple des boisés, au nord, et du secteur agricole, au sud, en fait foi. Là, l'indice normalisé de végétation est très élevé. Notons que certains champs agricoles ont une valeur très faible. Cela provient du fait que les champs ont été labourés ou que la moisson a été faite, laissant ainsi une grande partie de la **signature spectrale** du sol disparaître. L'intensité du signal visuel est beaucoup plus faible dans les environnements urbains. La domination de la composante minérale des objets en est la cause.

B) Les transformées

Une des transformées les plus utilisées est celle de Hotelling (Bonn [10]). Plus connue sous l'appellation **analyse en composantes principales** (ACP), il s'agit d'une technique de transformation de type linéaire qui est associée à l'analyse factorielle. Elle est utilisée en télédétection dans le but premier d'éliminer la redondance entre les différentes bandes spectrales. Elle devient alors une technique de compression de données. Il est en effet d'ores et déjà reconnu qu'il existe des relations causales entre différentes bandes spectrales. L'exemple entre les bandes TM 1 et TM 2 de Landsat est souvent cité. Sur la figure 5.19, nous montrons comment cette corrélation peut être élevée ($r = 0,8793$).

Habituellement, les deux ou trois premières composantes peuvent expliquer presque toute la variance des valeurs de réflectance des différentes bandes spectrales considérées. Les autres composantes contiennent habituellement les effets nuisibles à l'interprétation. Ce genre de transformée permet de détecter d'une façon beaucoup plus claire certains objets qui étaient en partie masqués par de l'information inutile (le **bruit**). Sur la figure 5.20, nous montrons le type d'information que l'on peut extraire des quatre premières composantes.

Sur la première composante (a), on note la dominance de l'infrarouge réfléchi. Elle fait ressortir surtout les zones à forte concentration de chlorophylle (secteurs en blanc). L'eau apparaît en noir. La deuxième composante (b) est plus liée à la bande rouge qui fait ressortir l'occupation du sol. Nous pouvons aussi noter les nuances dans les **teintes** de l'étranger. Pour ce qui est de la troisième composante (c), nous percevons surtout d'une façon claire les sédiments en suspension dans l'eau, laissant surtout dominer l'information dans la bande du bleu. Enfin, la quatrième composante (d) isole en quelque sorte le **bruit**.

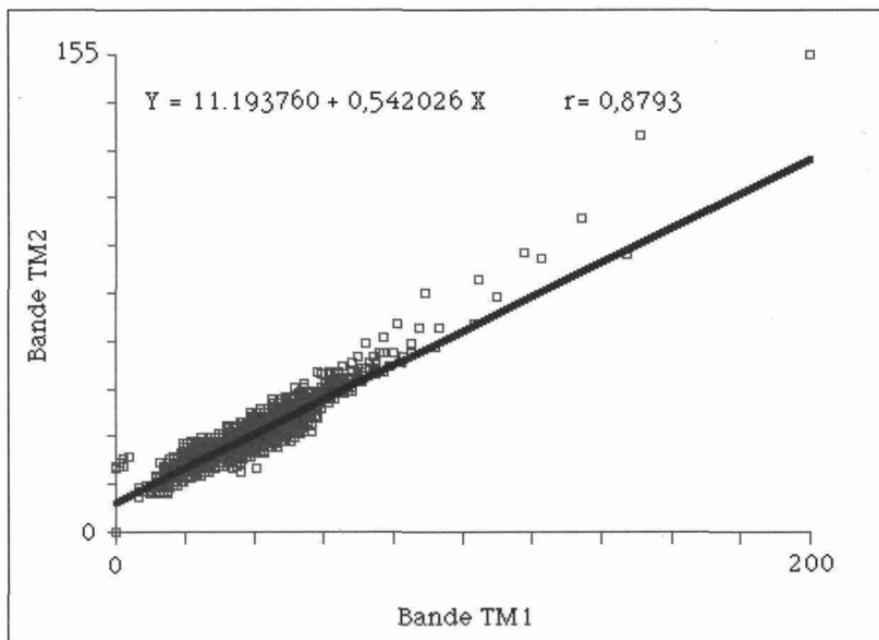


Figure 5.19. : Analyse de régression simple entre les bandes TM1 et TM2 d'une sous-image 512 x 512 de la région de Charlevoix, au Québec, acquise le 25 septembre 1988.

En télédétection, la manipulation des données faite dans un objectif d'extraction d'information utile se fait surtout dans une perspective de référence spatiale. Or, il existe des approches qui sont basées sur la fréquence spatiale. C'est le cas de la transformée de Fourier. En matière de traitement d'image, c'est une technique mathématique qui consiste à compartimenter une image en fonction de ses différentes composantes de fréquence spatiale. L'expression fréquence spatiale est définie, d'après Bonn et Rochon [11] comme étant le nombre d'oscillations (cycles) par unité d'espace. Plus le nombre d'oscillations est élevé, plus on se réfère à la haute fréquence et vice-versa. Sur la figure 5.21, nous illustrons ce concept.

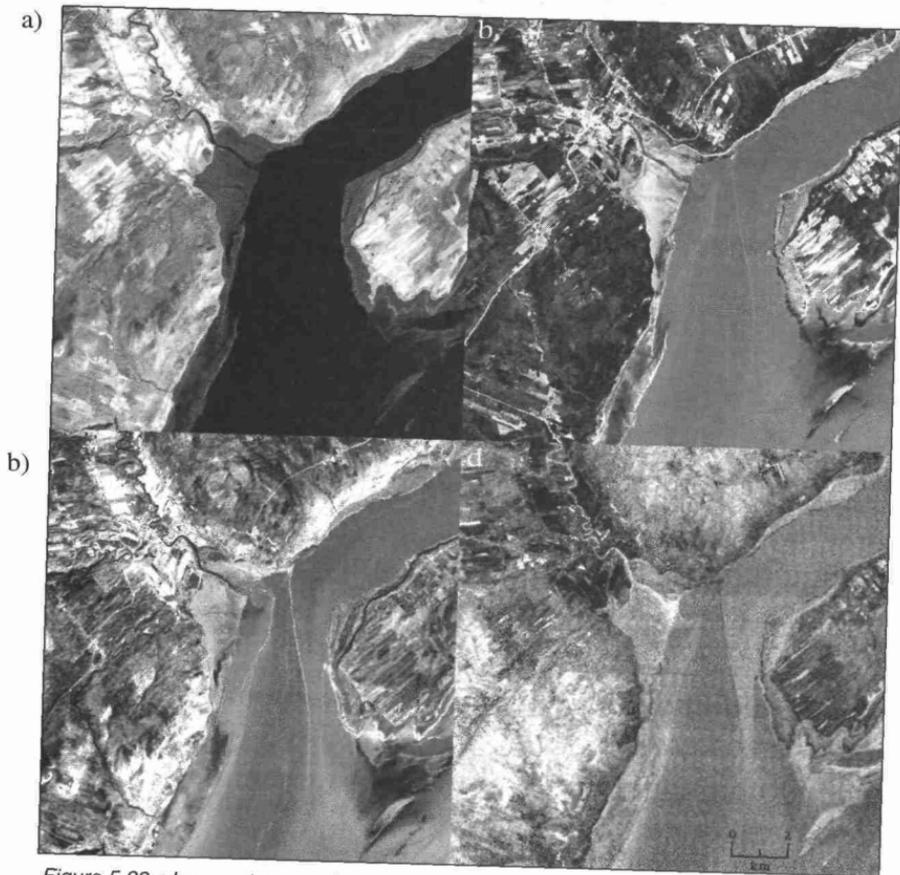


Figure 5.20. : Les quatre premières composantes principales d'une image TM acquise le 25 septembre 1988 dans la région de Charlevoix, au Québec: a) composante 1, b) composante 2 c) composante 3, d) composante 4.

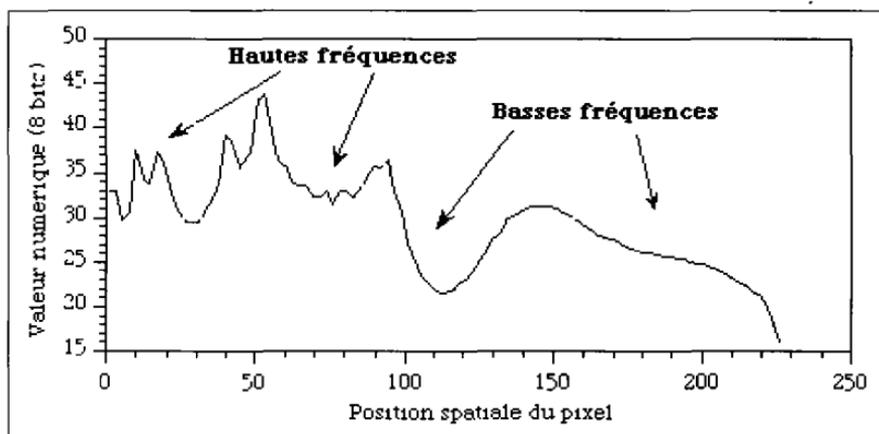


Figure 5.21. . Profil radiométrique illustrant les types de fréquences sur une image TM 3 de Landsat-5.

Tel qu'indiqué dans la section 5.2.2, ce genre de transformée est particulièrement utile pour la restauration et les **corrections radiométriques d'images**. Elle l'est aussi pour l'extraction d'information linéaire. Bien que les logiciels et les ordinateurs actuellement utilisés soient très performants, il n'en demeure pas moins que, compte tenu de la complexité des calculs et de la taille des images disponibles aujourd'hui, l'efficacité de la transformée de Fourier a un coût : le temps d'opération.

5.3.3. Le besoin d'une classification nuancée : la fin de l'approche binaire

Les informations numériques contenues dans les différentes bandes spectrales d'une **image** peuvent être classifiées, c'est-à-dire compartimentées dans des classes de valeurs qui, à leur tour, sont déterminées par l'analyste ou par l'ordinateur. Il en ressort des produits visuels interprétables et intégrables dans des systèmes d'information. Jusqu'à tout récemment, les méthodes de classification utilisées étaient celles qui avaient été développées au début de la télédétection moderne, soit à l'arrivée des premiers satellites d'observation de la

Terre. Plusieurs recherches de compartimentation spatiale par la classification ont engendré des cartographies d'occupation du sol dont l'utilité était souvent mise en doute. Bien que statistiquement précises, les **images** étaient classifiées en fonction de thèmes qui n'étaient pas suffisamment précis. Une comparaison rapide entre les thèmes retenus dans une légende d'une carte d'utilisation/occupation du sol réalisée avec les moyens conventionnels et ceux provenant des données de télédétection montre que les méthodes de classification ont besoin d'être raffinées. La précision spectrale, radiométrique et spatiale des nouvelles **images** permet cependant un rapprochement avec les thèmes couramment utilisés (Desjardins et Cavayas [20]).

Bonn et Rochon [11] mentionnent que, traditionnellement, la classification se divise en deux entités : la classification dirigée et la classification non dirigée. La première implique que l'on tente d'identifier sur toute une **image** des spécificités du terrain déjà connues. C'est à partir de la **réalité de terrain** que l'on crée des sites d'entraînement, élément essentiel pour la création de la **signature spectrale** des thèmes retenus. Dans le cas de la classification non dirigée, l'analyste tente d'interpréter les informations numériques de l'image selon une classification déterminée par l'ordinateur. Il configure les données sous forme de nuages de points qui déterminent en quelque sorte la **signature spectrale** des thèmes retenus. En conséquence, cette classification propose une **image** qui devra par la suite être confrontée à la **réalité de terrain**.

Compte tenu de son utilisation très répandue, nous nous attarderons seulement sur l'approche dite dirigée. Les approches les plus connues sont les méthodes du parallépipède, de la distance spectrale minimale et du maximum de vraisemblance. Des auteurs tels Bonn et Rochon [11] et Lillesand et Kiefer [39] présentent les détails nécessaires pour comprendre la mécanique de fonctionnement de ces méthodes.

Dans une perspective d'application, Eastman [25], estime que la méthode du parallépipède est généralement considérée comme étant l'approche la plus intéressante au niveau pédagogique, la plus rapide mais, en même temps, la moins précise. Les **pixels** sont assignés à des classes de **valeurs numériques**

à la condition que leurs valeurs se situent entre les minima et maxima de ces classes. La réalité fait en sorte qu'il y a des chevauchements entre les limites des différentes classes. Ainsi, nous nous retrouvons avec des **pixels** mixtes c'est-à-dire qu'ils peuvent appartenir en même temps à plusieurs classes différentes. La méthode du parallépipède est d'une efficacité limitée quant à l'assignation de ces **pixels** aux classes les plus vraisemblables. Pour ce qui est de la méthode par la distance spectrale minimale, les **pixels** sont assignés en fonction de la plus courte distance spectrale par rapport à la moyenne des valeurs d'une classe. Elle est efficace à la condition que les classes soient bien délimitées et que la variation ou l'écart-type par rapport à la moyenne soit faible. En fait, plus la variation est faible, plus son efficacité est grande. De plus, dans les logiciels de traitement d'**images**, il est souvent possible de spécifier une distance spectrale maximale au-delà de laquelle le **pixel** ne peut être inséré dans cette classe. Enfin, la méthode du maximum de vraisemblance est basée sur le maximum de probabilité qu'un **pixel** puisse être dans une classe. La prise de décision de l'ordinateur est basée sur la moyenne, la variance inhérente de chaque bande et la covariance entre les bandes. Bien qu'elle soit plus lente à réaliser, il n'en demeure pas moins que, si nous avons une **réalité de terrain** précise et, *a fortiori*, des sites d'entraînement homogènes et donc très fiables, cette méthode est la plus efficace. Elle fonctionne aussi lorsque nous avons une distribution normale (gaussienne) des données. Or, ce n'est pas toujours le cas en télédétection.

Les méthodes présentées ci-haut font partie des classifications dites « dures » ou binaires (*hard classifiers*). Dans les récentes recherches on a proposé de nouvelles approches afin de tenir compte de la complexité du signal reçu par rapport aux hautes précisions spectrales et spatiales des données actuelles de télédétection. Il faut en conséquence être plus souple dans les décisions de classification. On parle alors de classification souple (*soft classifiers*). L'approche par la logique floue constitue un exemple fort pertinent car les informations géographiques ne sont pas toujours précises, que ce soit des données de terrain, des données issues de la cartographie ou de la télédétection. Nous traitons d'imprécision en ce sens que les limites spatiales entre les objets ou cibles sont parfois floues, d'où l'intérêt de cette approche. En fait, il s'agit

de donner un certain niveau d'appartenance à un **pixel** (normalement entre 0 et 1) en fonction de sa valeur par rapport à celle des limites de classes qui se voient. Sur la figure 5.22 nous proposons un exemple de cette approche.

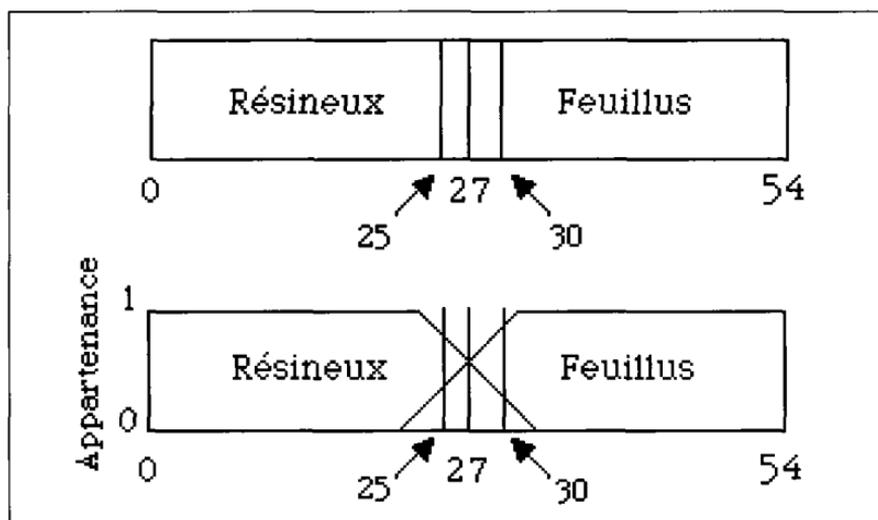


Figure 5.22 : Comparaison entre une classification de type binaire et une classification souple telle que celle par l'approche de la logique floue. Adapté de Eastman [24].

Notons que la partie supérieure de l'image n'engendre aucune ambiguïté mathématique quant à l'appartenance des **pixels** ayant les valeurs respectives de 25 et de 30 si l'on tient compte que la limite entre les classes des résineux et des feuillus est de 27. Cependant, dans la partie inférieure, on constate plus de souplesse. En effet, le niveau d'appartenance du pixel ayant une valeur numérique de 25 est de 0,8 pour la classe des résineux et de 0,3 pour celle des feuillus. Par contre, le **pixel** ayant une valeur de 30 a un niveau de 0,25 pour les résineux et de 0,9 pour les feuillus.

Dans les nouveaux outils de classification qui sont développés, il est possible de créer des signatures floues à partir du niveau d'appartenance que peuvent avoir les **pixels**. Par la suite, nous pouvons alimenter une classification dirigée

avec ces signatures. Cette méthode devient donc intéressante surtout dans les cas où il existe cette ambiguïté en matière de classification quand il s'agit de **pixels** mixtes. Ce phénomène est de plus en plus présent dans les **images** à haute **résolution** d'aujourd'hui.

5.4. Le défi de l'analyse et de l'interprétation

5.4.1. L'intervention du numérique : l'ordinateur

L'ordinateur ainsi que les logiciels sont d'abord et avant tout des outils. En fait, ils sont ni plus, ni moins que des aides à la décision. En télédétection, comme dans d'autres disciplines, on oublie trop souvent que cet instrument doté d'une mémoire n'a pas nécessairement les « capacités intellectuelles » pour entrer en compétition avec le cerveau humain. En bref, c'est encore nous qui avons la responsabilité de prendre des décisions à n'importe quel moment du traitement. Les logiciels ont, comme objectif premier, de rendre des informations utilisables en traitant les données et en mettant à notre disposition des produits à valeur ajoutée qui sont emmagasinables dans cette mémoire. N'oublions pas qu'ils opèrent à partir des commandes du cerveau humain. Aujourd'hui, l'ordinateur et les logiciels peuvent nous permettre de proposer des **images** claires et précises sur les objets terrestres. De plus, les sources, le traitement et l'extraction d'information sont d'une richesse telle qu'il est pratiquement possible de produire des résultats à toutes les **échelles** (en incluant les données numériques acquises par avion), non seulement dans une perspective descriptive, mais aussi dans une approche analytique. Avec le temps, l'évolution dans le traitement et l'extraction de l'information a été telle dans certains secteurs que les chercheurs ont délaissé certains types de représentativité de l'espace. C'est le cas pour les méthodes de classification.

Les technologies développées depuis quelques années font en sorte que nous pouvons obtenir des produits servant à la prise de décision d'une très grande fiabilité. À titre indicatif, dans une perspective d'intégration des données de télédétection à un SIG, rappelons d'abord la nécessité de grande précision des

corrections géométriques que l'on doit appliquer aux **images**. Nous avons déjà mentionné le SRIT (Système de rectification des images de télédétection) de Toutin [71]. Il démontre que l'on peut obtenir des précisions allant jusqu'au demi **pixel** dans la correction. Il faut cependant mentionner que ce genre de résultat ne peut être réalisable que dans des conditions idéales : 1) une **image** à haute **résolution** (ex : SPOT **panchromatique**), 2) une excellente précision des points de contrôle et 3) un **modèle numérique d'altitude** (MNA) avec une précision de 5 à 10 m. Notons que ces MNA ne sont en général pas disponibles à cette précision. Il faut les créer. Aujourd'hui, plusieurs logiciels offrent cette possibilité. Il faut cependant avoir des cartes topographiques de base fiables et précises. Il n'est pas toujours facile de s'en procurer et encore moins de les créer à un coût abordable.

Le produit de télédétection « exportable » vers des SIG se doit de contenir des informations facilement lisibles. C'est pourquoi la partie traitement et certaines formes d'extraction de l'information sont aussi développées. Notons d'abord les filtres servant à éliminer le **bruit** inhérent au **capteur** et aux propriétés géométriques des objets (rugosité). L'arrivée en force des **images radar** sur le marché a engendré le développement de filtres qui atténuent ces types de **bruits**. Ces filtres spécialisés se nomment ainsi : le filtre adaptif de Lee (*adaptive box filter*), le filtre adaptif de Frost amélioré, le filtre de Kuan ainsi que le filtre Gamma. Lopes *et al.* [40] en présentent une description exhaustive. Voilà un exemple de traitement qui vise à améliorer la qualité visuelle globale d'une **image**.

Des filtres sont aussi développés pour faire ressortir d'une façon particulière certains éléments de l'**image** : c'est le cas des filtres directionnels. Ils ont été développés afin de rehausser les contours des objets mais, contrairement aux filtres passe-haut tel le filtre Laplacien, ils sont orientés en fonction d'un angle particulier. Visuellement, ils ont comme effet d'illuminer le paysage de la même façon qu'une lumière rasante, tout en banalisant la toile de fond. Les travaux de Wang [76] avec le développement du système (*LINDA - Linear-feature and Network Detection and Analysis*) et ceux de De Sève *et al.* [18] sur les linéaments géologiques sont des exemples typiques. Récemment, l'approche

de détection des éléments linéaires par l'intermédiaire des réseaux de neurone a été expérimentée dans le cadre d'un projet avec l'Agence spatiale canadienne. Les résultats se sont avérés très encourageants, notamment dans leur application sur les images du satellite canadien Radarsat-I en mode fin. L'extraction d'information bénéficie enfin d'une autre approche en plein développement au niveau des applications. Il s'agit de la morphologie mathématique. Cette méthode est particulièrement utile pour la détection des changements (dynamique spatio-temporelle), tant au niveau du milieu naturel (Callot *et al.* [12]) que de l'espace construit (LeQuéré *et al.* [36]).

5.4.2. L'intervention du visuel : le cerveau humain

Dès 1986, Gregory et Moore [31] concluaient une recherche sur les méthodes d'exploitation des données de télédétection en ces termes : « les résultats découlant de la recherche et de la pratique laissent entendre que la classification numérique des données de télédétection ne saura répondre aux besoins imminents en matière de cartographie, à l'exception de thèmes simples ou bien particuliers. L'interprétation humaine, cependant, est en mesure de répondre à un grand nombre de besoins cartographiques actuels ». Les auteurs en concluaient, qu'au cours des 15 prochaines années, des systèmes hybrides composés à la fois des données numériques et analogiques étaient nécessaires afin de réaliser des produits à valeur ajoutée utiles et fiables. Dans une visée d'application, le rapport coût/efficacité devient une variable qu'il faut considérer. Encore aujourd'hui, nous devons donc conclure que les méthodes d'interprétation qui incluent une contribution majeure de la part d'êtres humains expérimentés semblent donner des résultats nettement supérieurs en qualité par rapport aux méthodes numériques. Les auteurs précités estiment que cette supériorité est claire pour les trois aspects suivants : précision de la classification, intégration de **données auxiliaires** et rapport coût/efficacité. Il faut cependant préciser que notre cerveau ne perçoit pas naturellement les caractéristiques d'objets trop abstraits. Même si l'œil est capable de reconnaître les objets à partir de certaines formes liées à son contour, il doit être éduqué pour pousser la reconnaissance et l'analyse plus loin. Notre cerveau a donc besoin

de clés d'interprétation basés sur diverses variables (voir section 2.1). Dans la recherche d'une bonne familiarisation avec les indices servant à la reconnaissance et à l'analyse, il ne faut pas sous-estimer l'impact des fausses couleurs sur la perception visuelle. Il est parfois choquant pour l'œil (et le cerveau) de visualiser des **images** provenant de combinaisons fausses couleurs, ce qui entraîne une confusion si on n'est pas éduqué dans ce sens. Il apparaît donc essentiel, à même titre que pour la photo-interprétation, de se familiariser par l'intermédiaire de l'observation de plusieurs composés, à toute sorte de combinaisons pourvu qu'une **réalité de terrain** soit disponible.

À la fin des années 1980, Ryerson [56] soulignait, qu'en matière de télédétection appliquée, nous devrions nous engager dans le futur en ayant en tête les considérations suivantes :

- la vision du futur apparaît claire pour certains aspects, moins pour d'autres ;
- les systèmes experts seront utilisés pour aider au développement de procédures analogiques dans l'interprétation visuelle des **images** semblables aux clés d'interprétation développées dans le passé ;
- ces procédures incluront des informations provenant des SIG ;
- l'interprétation d'**image** se basera sur les critères de **teinte**, de **brillance**, de **forme**, de **texture**, d'**arrangement**, de taille et de contexte ; il sera toujours difficile de quantifier plusieurs de ces variables ; c'est pourquoi l'interprétation visuelle deviendra l'élément fondamental dans le processus d'extraction d'information ;
- les SIG ou les systèmes d'analyse d'images seront utilisés pour fin d'interprétation de la même manière que les systèmes qui sont développés pour des produits photographiques ;
- les résultats de l'interprétation des images seront intégrés dans un SIG dans une perspective de mise à jour ;
- l'infrastructure nécessaire pour la phase d'interprétation sera beaucoup moins lourde que celle déployée actuellement en SIG et en télédétection ;

- l'industrie devra concentrer une partie importante de sa recherche et de son développement afin de répondre aux besoins des utilisateurs pour qui il n'est pas rentable de développer par eux-mêmes des méthodes d'interprétation.

Compte tenu de la finesse de l'information que nous pouvons acquérir à partir des **capteurs**, il convient d'affirmer que les détails contenus dans une **image** deviennent de plus en plus comparables en quantité et en qualité visuelle à ceux que l'on retrouve sur les photographies aériennes. L'auteur rappelle lui aussi l'importance du niveau de connaissance préalablement requis en fonction du ou des thèmes étudiés et analysés afin de pouvoir rendre un produit d'interprétation fiable. Enfin, il souligne le manque de structure et de critères précis dans le processus d'interprétation.

5.4.3. La validation des résultats : la réalité de terrain

Le terme validation peut être défini au sens large comme étant un processus qui permet d'estimer, à partir de moyens indépendants à ceux utilisés, la qualité des résultats obtenus à l'aide d'une méthode rigoureuse et de techniques pertinentes.

Le principe de base de la validation est de comparer le produit avec une base d'information provenant d'autres sources. En effet, avant un processus de prise de décision éclairée, les produits à valeur ajoutée, ou produits dérivés, doivent être validés en les confrontant avec des réalités de terrain fiables.

Ces **réalités de terrain** peuvent provenir directement d'observations et de mesures sur le terrain, de plates-formes aériennes, de bases de données cartographiques, d'expérimentations en laboratoire, de données statistiques ou de modèles. Compte tenu des **résolutions** spatiale, spectrale, radiométrique et temporelle des **capteurs**, il faut s'assurer que l'information utilisée pour fin de validation est comparable avec celle acquise par télédétection. En réalité, ce n'est pas toujours le cas, surtout lorsque nous cherchons à valider des mesures physiques. En effet, des erreurs peuvent se glisser à cause des méthodes d'échantillonnage sur le

terrain ou de la stabilité dans la calibration des instruments. Il n'est pas facile de mesurer des valeurs de **luminance** au sol qui soient représentatives d'un **pixel** sur l'**image**. Plus le **pixel** représente une grande superficie sur le terrain, plus la marge d'erreur est potentiellement grande, tant au plan radiométrique que géométrique. Il faut aussi tenir compte des effets de la colonne atmosphérique entre le **capteur** et la cible. Bien que plusieurs modèles performants existent (6S, M5S, Tanré *et al.* [67] ou Teillet et Santer [70], LOWTRAN 7, Kneizys *et al.* [34], MODTRAN 2, Berk *et al.* [8], MODTRAN 3, Anderson *et al.* [3]), on doit se fier à la représentativité des modèles atmosphériques proposés. Nous pouvons aussi utiliser les données d'une colonne atmosphérique provenant de ballons-sondes lancés au moment du passage de la **plate-forme**. Il faut cependant s'assurer que la structure et la composition horizontale de la colonne soient homogènes pour tout le territoire étudié.

Les utilisateurs souhaitent avoir en main des données fiables. Dans une perspective de mesures physiques, Teillet *et al.* [69] retiennent les considérations qui suivent pour ce qui est de la validation :

- en fonction de la calibration des capteurs, la plupart des utilisateurs veulent des données directement applicables qui proviennent d'instruments dont la stabilité radiométrique et la simplicité de compréhension sont suffisamment correctes pour qu'ils perçoivent une certaine transparence par rapport à ce problème ;
- les caractéristiques spectrales des capteurs devraient être suffisamment apprises et comprises pour pouvoir générer des produits géophysiques ou biophysiques à partir de différents systèmes de mesure (lire **plate-forme**) ;
- la pertinence des **corrections atmosphériques** dépend d'abord de la disponibilité (dans une visée d'application) des paramètres atmosphériques nécessaires pour faire fonctionner les modèles ; elle doit aussi être déterminée en fonction du rapport coût/efficacité des modèles utilisés ;
- une intégration de qualité des données physiques (notamment la **réflectance ou luminance**) à une base de données **multisources** doit prendre en compte les effets géométriques sur la radiométrie.

De façon plus générale, une étude de marché mentionnée dans Sweet *et al.* [66] révèle que, pour l'étalonnage et la validation, la valeur de l'information extraite, notamment des données de télédétection, est limitée par les facteurs suivants :

- les **corrections géométriques, atmosphériques** et celles liées à certains types de **réflectance** ;
- les problèmes de contrôle de qualité en ce qui concerne la calibration, le processus d'interprétation, la validation avec des données collatérales et le suivi du traitement ;
- le peu de développement (ou d'intérêt) dans la standardisation des formats, des médias, des systèmes de traitement et des applications ;
- le manque de flexibilité dans les techniques automatiques d'interprétation (notamment en fonction de l'échelle de travail) ;
- les problèmes d'intégration avec les SIG à cause de l'hétérogénéité tant des formats, des propriétés radiométriques et géométriques, de la régularité d'acquisition à l'**échelle** temporelle, de la **résolution** spatiale ainsi que du manque de données numériques provenant des données de terrain.

Bien que l'on reconnaisse que les problèmes ci-haut mentionnés constituent parfois un défi de taille, il demeure essentiel de poursuivre la recherche en matière de validation et d'application des données de télédétection.

Chapitre 6

Conclusion : vision critique de l'outil et perspectives d'avenir

*Un problème sans solution est
un problème mal posé*

Albert Einstein

Depuis plus de 30 ans, la télédétection nous a éblouis. Nous avons été les témoins attentifs d'une évolution technologique voire, d'une révolution technologique, qui aura permis de saisir la Terre d'abord dans son ensemble et, graduellement, de la découvrir d'une façon de plus en plus intime. Cette évolution aura eu aussi comme conséquence que la détection, sans contact physique avec l'objet terrestre, a ses limites. Dans la plupart des cas, nous ne captions que l'information à sa surface, c'est-à-dire, ses caractéristiques épidermiques. Elles peuvent être cependant une manifestation de ce qui se passe sous la surface. Les **fenêtres spectrales** telles que l'infrarouge thermique et les hyperfréquences nous permettent de l'affirmer. Selon Drury [23] seules l'atmosphère et, dans une moindre mesure, l'eau (jusqu'à une certaine profondeur) laissent transparaître les caractéristiques d'objets solides. La télédétection cependant est devenue un outil utilisé quotidiennement en météorologie et en climatologie. Elle s'implante aussi actuellement d'une façon permanente dans les recherches océanographiques.

Nous avons senti, qu'en fonction de son raffinement technique, la télédétection a encore besoin de **données auxiliaires**. En effet, elle est rendue au point où l'on peut détecter des objets ou des **arrangements** d'objets tellement complexes (lire avec beaucoup de détails) que la télédétection à elle seule ne peut toujours suffire à la tâche. C'est là que son intégration dans les **systèmes d'information géographique** prend tout son sens.

Il faut enfin souligner que nous avons assisté à un chambardement majeur dans le domaine de la confidentialité des informations sur un territoire. Les changements politiques, liés à l'évolution technologique des capteurs, font en sorte qu'il est aujourd'hui possible de voir un paysage et ses composantes avec un niveau d'intimité qui, jusqu'à ces dernières années, n'était accessible qu'à des militaires.

6.1. Sur les possibilités de la télédétection

La sagesse des auteurs tels Lillesand et Kiefer [39] ainsi que notre propre expérience nous incitent à poser les prémisses suivantes quant aux possibilités de la télédétection :

- 1) une connaissance intime du phénomène à observer ;***
- 2) un énoncé clair du problème qu'il faut résoudre ;***
- 3) une évaluation du potentiel des techniques de télédétection à résoudre, en tout ou en partie, le problème énoncé ;***
- 4) une connaissances du type de données à acquérir qui sont appropriées au problème posé ;***
- 5) une intégration de sources de données multiples qui sont interreliées entre elles au niveau de la source et des procédures d'analyse ;***
- 6) un choix judicieux des approches visant à une interprétation fiable des données acquises ;***
- 7) un choix de critères visant à évaluer la qualité des informations acquises et extraites.***

Les possibilités en télédétection sont grandement augmentées lorsque nous établissons la base d'information sur des approches **multibandes**, multi temporelles, multi spatiales (ou multi-échelle). Dans cette perspective, les observations au sol sont un facteur déterminant pour la validation des résultats. Dans ce nouveau courant de données multi sources, la télédétection ne doit plus être considérée comme une fin en soi, mais comme un moyen parmi d'autres servant à obtenir de l'information utile.

Selon Girard et Girard [30], nous pouvons faire appel à la télédétection pour les sept fonctions suivantes :

1) La justification

La télédétection peut être utilisée afin de confirmer des informations que l'on connaît déjà. Par sa nouvelle vision, elle a comme avantage d'apporter parfois une nouvelle perception de l'objet ou du thème, offrant ainsi comme possibilité d'émettre de nouvelles hypothèses ou de nouveaux concepts. Nous pouvons citer en exemple un début d'activité volcanique à partir de la thermographie infrarouge.

2) L'identification

La télédétection peut être utilisée afin d'identifier un objet, connu de l'analyse, à partir de ses diverses caractéristiques spectrales et spatiales. Cette fonction est souvent déterminée par le moment de prise d'information et la **fenêtre spectrale** employée. L'exemple des coupes forestières identifiées en août à l'aide de la bande rouge d'un capteur est très révélateur en ce sens.

3) La répétition

La télédétection peut être utilisée afin d'identifier un objet ou un événement dont les caractéristiques spectrales varient dans le temps. On en arrive à qualifier cet objet à partir de son comportement spectral. L'identification de champs de maïs à l'aide de la fenêtre du proche infrarouge sur différents moments de l'année constitue un bon exemple d'identification par répétition.

4) La détermination

La télédétection peut être utilisée, en conjonction avec des **données auxiliaires**, afin d'identifier des objets, des thèmes ou des événements dans un espace donné. C'est l'approche préconisée pour la mise en place d'un **système d'information géographique**. À titre d'exemple, une **image** de télédétection, jumelée à des cartes de précipitations, de pentes et de type de dépôts meubles peut identifier des aires à fort potentiel d'érosion.

5) L'interprétation

La télédétection peut être utilisée afin de caractériser un ensemble d'objets, non directement décelables par télédétection, par leur géométrie, leur comportement spectral dans le temps et dans l'espace ainsi que par leur organisation spatiale. La reconnaissance d'une région rurale agricole en est un exemple. Il en est ainsi pour tous les modes d'occupation du sol.

6) L'extrapolation

La télédétection peut être utilisée afin de généraliser sur une grande surface un modèle d'identification, de détermination ou d'interprétation réalisé à partir d'une zone de faible dimension. C'est le cas d'une classification dirigée pour toute une région en se fiant sur des sites d'entraînement représentatifs de divers thèmes d'occupation du sol.

7) L'unification

La télédétection peut être utilisée en conjonction avec des **données auxiliaires** pour réaliser des cartes thématiques à des échelles déterminées par les besoins de l'utilisateur et la limite de la **résolution** spatiale, spectrale, radiométrique et temporelle du ou des capteurs utilisés. Cette étape peut contenir les fonctions préalablement énoncées allant de la justification à l'extrapolation. L'exemple le plus probant reste encore une carte d'occupation des sols qui aura été validée avec des informations tirées de secteurs homogènes et représentatifs des divers thèmes retenus.

L'acquisition d'information par satellite à toutes les **échelles**, et ce pour toutes les parties du globe, deviendra réalité en l'an 2000. Ce sera possible pour un territoire variant de quelques kilomètres carrés de superficie jusqu'à toute la surface du globe. Ceci pourra être fait à partir de **résolutions** de plus en plus fines et donc, de plus en plus spécialisées. Actuellement, nous sommes très près de cette possibilité grâce aux **images** du satellite russe SPIN-2. La récente commercialisation de ce produit permet aux utilisateurs d'obtenir des **images** en mode **panchromatique** avec une résolution **spatiale** de 2 m. À moins de défaillance technique majeure, l'année 1999 sera le théâtre du lancement de satellites ayant des capteurs dont la **résolution** spatiale sera de 1 m en mode **panchromatique** et de 3 m en mode **multibande**.

La fin de ce siècle nous amène aussi à la télédétection « à la carte ». Il est maintenant possible de commander des **images** satellitales avec des options de plus en plus raffinées. En effet, nous pouvons acquérir des **images** avec des angles de prise de vue ainsi que des **résolutions** spatiales, spectrales et temporelles différents, sans compter sur des types de pré-traitement radiométriques et géométriques fort diversifiés. Les utilisateurs auront plus de choix pour les **plates-formes**. Rappelons que plus d'une trentaine de satellites seront opérationnels au début du prochain siècle. Notons qu'il sera toujours possible de se procurer des données satellitales pour un territoire sous plusieurs **bandes spectrales** à la fois. Les systèmes SPOT et Landsat, par exemple, continueront de fournir ce genre de base d'information.

6.2. Sur les limites de la télédétection

Bien que nous soyons en mesure d'obtenir des informations de plus en plus sophistiquées et de plus en plus précises, il n'en demeure pas moins que la télédétection fait face à des limites difficiles à surmonter. Elles sont d'ordres naturel, temporel, technique, économique et d'interprétation.

1) L'élément naturel

Encore aujourd'hui, la majorité des données acquises par télédétection le sont dans les **fenêtres spectrales** du visible et du proche infrarouge, bien que nous assistions à une percée intéressante dans le domaine des hyperfréquences actives par l'intermédiaire du **radar**. Les contraintes sont associées aux conditions climatiques locales qui prévalent au moment de la prise d'information. Il y a des cas chroniques comme la zone équatoriale amazonienne. Là, l'information ne peut être acquise de façon utile que par la technique du **radar**. Nous verrons plus loin que ce mode de saisie a aussi ses limites. Pour d'autres secteurs tels que les zones climatiques de type continental, tempéré (chaud ou froid), cette contrainte s'accroît en fonction de la fréquence temporelle de l'acquisition.

Nous avons expérimenté ce problème lors de la recherche d'information thermique, au printemps, pour la région froide, tempérée et humide qu'est le Québec. Sur une base de données acquises durant une période de sept ans, une seule **image** répondait à notre critère principal : une absence de nuages !

2) L'élément temporel

Sur une base diurne, les limites sont évidentes. Les modes orbitaux ascendants et descendants de certaines **plates-formes** font en sorte que le moment de prise d'information est fixe dans le temps. L'exemple du satellite Landsat-5 est éloquent à ce propos : par exemple, le temps de passage est de 10h08 le jour et de 20h55 (heure locale) le soir au centre des Basses-terres du Saint-Laurent, au Québec. Ce temps de passage ne constitue pas le moment idéal pour acquérir des informations dans plusieurs cas. Ne citons que des recherches en terrain montagneux où l'effet d'ombrage peut parfois nuire, surtout si elle est prononcée comme c'est le cas au printemps et à l'automne dans les régions tempérées.

Dans un autre ordre d'idées, l'étude de la dynamique thermique des sols, dans une perspective d'évaluation de la teneur en eau, ne peut être réalisée à ces moments de la journée.

3) L'élément technique

L'impossibilité d'acquérir des informations sur les surfaces polaires à des **résolutions** spatiales et spectrales couramment utilisées constitue une contrainte de taille, surtout si l'on considère que ces surfaces terrestres deviennent de plus en plus les témoins de « l'état de santé » de notre environnement. Mises à part les récentes acquisitions par le satellite canadien Radarsat-I d'images couvrant les surfaces polaires, peu de **plates-formes** peuvent réaliser cet exploit.

Dans le cas où la calibration des données devient une nécessité, notamment pour les considérations à caractère purement physique telles que l'élaboration de **signatures spectrales** fines et représentatives, les **capteurs** ont aussi leurs limites. Elles sont reliées à leur stabilité radiométrique. Les transformations des **valeurs numériques** en valeurs de **luminance** donnent parfois des résultats discutables, ce qui implique qu'il faut toujours s'informer à la source sur la stabilité des détecteurs dans le temps. Les effets atmosphériques doivent aussi être corrigés. Il existe aussi des contraintes à ce niveau du fait qu'il n'est pas toujours possible de représenter la réalité par l'intermédiaire de modèles développés par les scientifiques et les informaticiens. Souvent, la précision souhaitée doit passer par un modèle qui utilise des données de ballon-sonde pour enregistrer l'information de la colonne située entre l'objet et le **capteur**. Or, ces données ne sont pas disponibles pour tous les points de la Terre et il faut souvent faire des extrapolations, ce qui engendre une incertitude quant à leur fiabilité.

Mentionnons aussi que, jusqu'à maintenant, aucune **plate-forme** ne peut offrir pour un moment donné, les informations d'un territoire dans toutes les **fenêtres spectrales** (ou, à tout le moins, dans les principales fenêtres) utilisées actuellement en télédétection et ce, avec une **résolution** spatiale intéressante. À tout bien considérer, ce ne sont pas nécessairement des raisons à caractère technique qui prédominent au sujet de cette limite. Peut-être sont-elles d'ordre de stratégie économique. L'exemple du satellite canadien Radarsat-I semble le

montrer. D'une **plate-forme** polyvalente sur papier en matière de **résolution** spatiale et spectrale, elle est devenue, avec le temps, un satellite spécialisé dans l'acquisition des données dans les hyperfréquences actives, laissant ainsi de côté les **fenêtres spectrales** du visible et de l'infrarouge prévues dans le projet original.

Enfin, le problème d'emmagasinage des informations reste toujours présent. Les améliorations technologiques ne parviennent pas tout à fait à suivre le rythme. Déjà impressionnés du fait qu'une **image radar** « monospectrale » pouvait avoir une taille de près de 800 mégaoctets (dépendamment du format d'enregistrement), voilà que nous devons faire face aujourd'hui à une nouvelle échelle de grandeur : le teraoctet, c'est-à-dire l'échelle supérieure gigaoctet ! Il va de soi que cette nouvelle dimension dans la taille des fichiers entraîne des réajustements à la baisse quant à la capacité à traiter ces données avec les ordinateurs actuellement disponibles. Seuls les mégasystèmes peuvent en venir à bout, ce qui n'est pas à la portée de toutes et de tous. Il faut donc, encore aujourd'hui, adapter notre manière de traiter les informations en fonction de la limite de nos outils de traitement.

4) L'élément économique

La télédétection n'est pas « à la portée de toutes les bourses » et elle nécessite des infrastructures parfois coûteuses en matière de logiciels et d'équipement, même si nous pouvons aujourd'hui traiter les informations à partir de micro-ordinateurs. Les nouvelles bases de données actuellement disponibles sur le marché font en sorte qu'il en prendra plus de temps pour les traiter et donc, en conséquence, plus d'argent. Le coût d'acquisition des données pour des entreprises privées peut s'avérer parfois élevé. L'information contenue sur le tableau 6.1 est très éloquent à ce propos. Il est cependant difficile de comparer ces prix à ceux des **photographies** aériennes ayant une superficie équivalente à celles couvertes par les différents **capteurs**. La variation de l'accessibilité et du prix unitaire en fonction des pays, des régions couvertes fait en sorte qu'il en revient à l'utilisateur de faire cette comparaison.

De prime abord, nous constatons que, plus la **résolution** est fine, plus le prix est élevé. Il faut cependant noter que les données sont numériques et parfois **multibandes**, ce qui n'est pas le cas pour les **photographies** aériennes.

Tableau 6.1 : Comparaison des prix au kilomètre carré pour différentes plates-formes disponibles au début de l'an 2000 (prix de 1998).

Sources : Space Imaging Corp., Radarsat International Inc., Aerial Images Inc.

Plate-forme et capteur	Couverture au nadir (en km2)	Résolution spatiale (en m)	Prix (\$US)*	Prix/km2 (\$US)
SPOT Pan	3 600	10	2 000	0,55
Landsat-5 TM	31 450	30	3 700	0,12
Landsat-7 TM	31 450	30	600	0,02
IRS1-C	4 900	5	3 500	0,71
IRS1-C	529	5	1 260	2,38
ERS-2	10 000	30	1 600	0,16
Radarsat-1 std.	10 000	25	3 000	0,30
Spin-2	Variable	2	Variable	30,00
Ikonos Pan.	121	1	---	76,00
Ikonos Multi.	121	5	---	76,00

*Notons que les prix sont pour des images sur lesquelles on a effectué des corrections systématiques. Certaines entreprises de distribution peuvent exiger un minimum d'achat en argent ou en superficie couverte

5) L'élément interprétation

Aussi raffinés soient-ils, la technologie et les types de **résolutions** ne peuvent se substituer au cerveau humain pour la déduction et l'analyse organisationnelle et fonctionnelle des objets.

Nous constatons que la **résolution** spatiale voisinera bientôt celle de la **photographie** aérienne et que la télédétection dépasse cette dernière depuis longtemps en matière de **résolution** spectrale et temporelle. Cependant, la télédétection d'aujourd'hui et de demain aura à se confronter aux mêmes problèmes d'interprétation que ceux rencontrés avec les **photographies** aériennes. Nous ne sommes pas aptes actuellement à proposer des clés d'interprétation qui permettent de trouver ce que l'on cherche sur des images complexes (lire **multi-bandes** en fausse couleur). L'approche du cas par cas et de la comparaison avec le réel demeure la plus utilisée.

Tel que mentionné, les détecteurs **radar** viennent éliminer, à toute fin pratique, le problème d'acquisition sous toute condition climatique et ils assurent la couverture complète de la Terre. Cependant, cette technique suscite son lot de problèmes lors de l'interprétation de ce type d'image. Nous signalerons seulement son manque de clarté (sur les **images brutes**) causé par les effets de **chatoiement**, de repliement et de déversement.

6.3. Sur la nécessité des données auxiliaires

La finesse avec laquelle nous pouvons extraire des informations par la télédétection d'aujourd'hui entraîne forcément une complexification dans la définition visuelle des objets. Dans une forêt, il y a plus que des résineux et des feuillus ; nous pouvons distinguer certaines espèces. Dans la ville, on voit maintenant les maisons et l'organisation de la propriété tout autour. Les objets sont donc perceptibles avec beaucoup de détails et ce, dans des **longueurs d'onde** qui défient toutes nos perceptions visuelles naturelles. Nous avons besoin d'aide... elle passe d'abord par la **réalité de terrain**.

D'après Short [60], son rôle se précise de la façon suivante :

- corrélér, à partir d'une perspective familière, des objets ainsi que leur localisation avec leur représentation sur les **images** satellitales ;
- fournir des données servant à la planification d'une mission ou d'un achat d'information acquise par télédétection ;
- réduire l'échantillonnage pour des fins d'exploration, de suivi et d'inventaires ;
- sélectionner des zones-tests pour des missions de support aérien ;
- identifier les classes déterminées par une classification non dirigée ;
- sélectionner et catégoriser les sites d'entraînement pour les classifications dirigées ;
- vérifier la qualité d'une classification à partir de techniques tant qualitatives que quantitatives ;

- collecter des échantillons d'objets captés par télédétection pour fin d'analyse en laboratoire ;
- acquérir des données auxiliaires intégrables dans un **système d'information géographique** ;
- développer des mesures-étalon pour la **signature spectrale** d'objets à partir de radiomètres portatifs ;
- effectuer des mesures spectrales et autres propriétés physiques d'objets avec les instruments appropriés afin de développer de nouveaux capteurs.

Les mesures sur le terrain peuvent être autant d'ordre physique (température de l'air, humidité relative, vent, **irradiance solaire**, valeur de **luminance**, teneur en eau des sols, niveau d'eau, épaisseur de la neige, niveau de sédimentation) que de l'ordre de l'occupation du sol (croissance de la végétation, types de couverture agricole et non agricole, identification des fonctions urbaines). Dans ce dernier cas, notons que ces informations peuvent être comparées à des pixels de l'**image** satellitale qui ne contiennent pas nécessairement une surface homogène.

C'est le phénomène du **pixel mixte**. Il devient alors plus difficile de comparer les valeurs de l'**image** avec celles observées sur le terrain du fait que la **résolution** est beaucoup plus fine et qu'il faut plusieurs observations spatialement consécutives pour couvrir l'équivalent de tout le **pixel mixte**.

Mentionnons enfin que les **données auxiliaires** doivent, en général, n'être considérées comme fiables qu'après vérification de leur qualité et de leur niveau de précision. C'est l'esprit du *garbage in...garbage out*.

6.4. Sur la télédétection : une source de données parmi d'autres

La technologie aidant, il est possible aujourd'hui d'appréhender et de comprendre l'organisation spatiale par l'intermédiaire d'un **système d'information géographique**. Comme la **photographie** aérienne à une certaine époque, la télédétection n'est plus seule. Les méthodes de détection, de traitement et de cartographie des informations acquises sur le terrain se sont aussi développées et apportent leur partie de savoir dans ce système.

Davis et Simonett [16] estiment que l'utilité réelle des données acquises par télédétection devient de plus en plus intimement liée au fait qu'elles puissent être associées avec d'autres informations spatiales. C'est dans cette perspective que la télédétection regagne de la popularité et devient une pièce maîtresse dans la perception du paysage.

La complicité entre la télédétection et les SIG doit se développer. Ils peuvent former un puissant outil d'inventaire, d'investigation, d'analyse spatiale et de planification du territoire. Intuitivement, nous avons conclu dans cette partie que la télédétection venait en aide à l'analyse spatiale en l'intégrant dans un SIG. Le contraire peut aussi être vrai. En effet, des données acquises avec un tel système peuvent venir en aide à titre de **réalité de terrain** dans l'analyse d'images satellitales.

En somme, d'après Jensen [33], plusieurs scientifiques estiment que le plein potentiel de la télédétection et des SIG ne peut être atteint que lorsque les deux technologies sont intégrées. Elhers [26] parle de système intégré d'information géographique.

Avant que l'information extraite à partir des données de télédétection ne puisse être intégrée dans un SIG, il faut qu'elle constitue un produit fini qui deviendra une couche d'information, au même titre qu'une carte thématique numérique. En fait, l'image matricielle qui en résulte doit être superposable en ce sens qu'elle est emmagasinée dans le même format (vectoriel ou parfois matriciel) et que la projection cartographique doit être la même. Cette double condition engendre parfois des transformations difficiles et coûteuses en temps. Une perte de précision peut en résulter. Au-delà de ces obstacles surmontables, la pertinence de ces données ne fait aujourd'hui plus de doute.

6.5. Le futur est à nos portes : vers une nouvelle révolution politico-technique

La venue du premier satellite d'observation de la Terre, au début des années 1970, aura provoqué une évolution, voire même une révolution dans l'acquisition, le traitement et l'analyse des données de la surface terrestre. Pour la pre-

mière fois, il était possible d'enregistrer des informations à une finesse spatiale jusque là réservée aux militaires.

En effet, seules les données provenant des satellites météorologiques étaient disponibles.

Les pionniers de la télédétection satellitale travaillaient avec des bases de données (souvent analogiques) dont la **résolution** spatiale ne pouvait dépasser l'ordre du kilomètre. Avec l'arrivée du satellite américain ERTS-1 et, en parallèle, des nouvelles techniques et méthodes de traitement des **images**, les spécialistes de l'analyse et de la gestion du territoire devaient composer avec des données sous un nouveau format : des matrices numériques composées de pixels représentant la Terre avec une précision beaucoup plus grande. Ils pouvaient en effet voir les composantes de la surface avec une **résolution** spatiale de l'ordre de la dizaine de mètres (plus spécifiquement, 57 x 79 m). Ce changement majeur allait fortement perturber les approches dites conventionnelles sans toutefois les éliminer. L'utilisation de la **photographie** aérienne, de données de terrain et de documents écrits demeurait la voie privilégiée menant à une prise de décision en matière d'inventaire et de planification et ce, surtout à l'**échelle** locale. Pour l'**échelle** régionale, ces outils n'étaient plus seuls. La télédétection moderne prenait petit à petit une place importante dans l'analyse spatiale.

Avec la popularité grandissante des SIG, comme outil d'analyse et de gestion du territoire, la télédétection devenait une source d'information privilégiée à cause de sa flexibilité en matière de **résolutions** spatiale, radiométrique, spectrale et temporelle. En fait, l'utilisation de plus en plus grande des SIG, couplée à la mondialisation des préoccupations spatiales, aura contribué d'abord à un regain d'intérêt pour les données satellitales. Par la suite, une demande de plus en plus forte d'information fine aura contribué à bouleverser l'évolution technologique et l'accessibilité aux données dont certaines étaient, jusque là, classifiées comme étant secrètes. Les fortes pressions et des événements politiques inattendus auront fait en sorte que nous avons assisté à une nouvelle révolution dans la manière d'obtenir des données d'observation de la Terre.

Le début des années 1990 aura été marqué d'abord par des changements politiques majeurs dans les pays de l'Est et, plus particulièrement dans l'ex-URSS. En télédétection, il était maintenant possible d'obtenir des **images** provenant des satellites militaires soviétiques. Cette ouverture permettait aux spécialistes d'obtenir des images avec une **résolution** spatiale voisinant le mètre.

Du côté américain, nous avons été les témoins d'événements semblables : une accessibilité aux données de satellites militaires tels que les **plates-formes** Corona et Argon, ainsi qu'un transfert de technologie qui nous permettait d'espérer la conception et la construction de **capteurs** à hautes **résolutions** spatiale et spectrale. Ce dernier type est déjà réalité mais, nous devons attendre le début du siècle prochain pour pouvoir obtenir des **images** satellitales avec une **résolution** à l'échelle du mètre.

Ces événements importants auront tôt fait de modifier les politiques concernant l'observation de la Terre. Aux États-Unis, en plus du rapatriement du programme Landsat du secteur privé au secteur public et de l'interdit de privatisation de la gestion des satellites météorologiques, ce changement se manifeste par de nouvelles politiques sur l'espace de la part du Gouvernement. Grâce aux nouvelles politiques tels le *National Space Policy* [47] et le *Land Remote Sensing Policy* [35], un pas important vers la « démocratisation » de la télédétection vient d'être franchi. Par l'intermédiaire de politiques et de législations, on reconnaît ainsi que la télédétection satellitale devient un outil essentiel pour l'amélioration des connaissances de la Terre dans une perspective de paix. On reconnaît aussi le droit des individus à une assurance sur la continuité de prise d'information par satellite en considérant des alternatives pour la suite de Landsat-7. On accorde aussi une plus grande facilité d'accès aux données acquises en maintenant un service d'archives sur toutes les **images** utilisables acquises et en ouvrant le marché de la télédétection à l'**échelle** internationale ce qui, par exemple, rend possible la vente d'**images** russes aux États-Unis, et vice versa. De plus, la politique des prix de vente des **images** de Landsat-7 fait en sorte que ces données seront accessibles à un plus grand nombre de personnes. En effet, une **images multibande** TM (7 bandes) sera disponible à un

coût minimal de 475,00 \$US, ce qui constitue une diminution drastique (si on le compare aux images de Landsat-5 qui peuvent coûter jusqu'à 4000,00 \$US). Cette politique fait en sorte que les entreprises privées, qui vendent et vendront des données qui s'apparentent à celles de Landsat-7, devront tôt ou tard proposer leur propre politique de prix qui devra être compétitive. Il semble donc que les utilisateurs ont de fortes chances de profiter de cette situation et, en conséquence, ils auront un plus grand choix pour l'acquisition des bases de données nécessaires à leurs projets.

Il demeure cependant que le domaine de la haute **résolution** spatiale appartient au secteur privé. À titre indicatif, des entreprises américaines telles que *SpaceImaging-Eosat Corp.* et *EarthWatch Inc.* planifient dans les prochaines années la mise en orbite de satellites à haute **résolution** spatiale. En effet, avec les **plates-formes** *Ikonos-1* et *Quick Bird*, on proposera avant la fin de ce siècle des **images** numériques à **résolution** spatiale très fine (moins de 1 m en mode panchromatique et environ 3 m en mode **multibande**). Du côté russe, des images à 2 m de **résolution** sont déjà disponibles avec le satellite *SPIN-2*. Les changements politiques font en sorte que ces données sont gérées par des agences russes qui ont maintenant des partenaires internationaux. À titre d'exemple, l'agence *SOVINFORMSPUTNIK* de Moscou s'associe avec un consortium américain (*Microsoft, Compaq, StorageWorks, United States Geological Survey-USGS,*) pour la vente et la distribution des données de *SPIN-2*. Cette association illustre aussi à quel point la technologie d'aujourd'hui nous permet d'avoir facilement accès à ces données. Il est d'ores et déjà possible d'obtenir, grâce à la firme *Microsoft* et du serveur *TerraServer*, des données directement par Internet. Leur base d'information numérique possède une dimension qui se situe à l'échelle du teraoctet ! Ce dernier exemple est indicateur de ce qui peut et pourrait se passer ailleurs dans les prochaines années. Plusieurs entreprises européennes et japonaises, par exemple, vont proposer des produits originaux et leur accessibilité sera probablement facilitée dans un temps relativement court. Il restera cependant des différences marquées entre les compagnies notamment aux niveaux du mode d'acquisition de l'information, de la largeur des **bandes spectrales** utilisées, de la manière

d'enregistrer (6, 8, 10, 12, 16 et même 32 bits) et du format d'enregistrement. Cela pourra engendrer certaines difficultés lorsque nous souhaiterons intégrer différentes sources de données. Néanmoins, ces obstacles sont mineurs lorsqu'on les compare à l'énergie qu'il faut déployer afin de faire changer de mentalité les décideurs face aux technologies et aux méthodes utilisées pour la gestion et la surveillance du territoire. La résistance au changement constitue la principale difficulté à laquelle certains auront à faire face. C'est possiblement là notre plus grand défi.

La télédétection est captivante. Elle éblouit l'observateur visionnant ses premières **images**, elle impressionne le néophyte par ses couleurs irréelles et son point de vue unique sur le monde. Elle ne laisse personne indifférent. Au-delà des oh ! et des ah !, cet outil de perception du paysage et de ses composantes est devenu, avec le temps, une source d'information de plus en plus recherchée à cause de sa flexibilité spatio-temporelle et de son incursion au-delà du visible. Plusieurs pays l'ont compris et ils investissent des sommes considérables pour son développement. Après tout, qui n'a pas intérêt à surveiller son environnement, à rechercher des ressources naturelles, à évaluer la production agricole, à gérer et à contrôler la productivité des océans, à planifier le développement du territoire et l'occupation du sol, à veiller étroitement sur les conditions et les fluctuations du climat.

« Que peut bien savoir un poisson de l'eau dans laquelle il nage. »

Albert Einstein.

RÉFÉRENCES

- [1] Ahern, F., D. Goodenough, S. Jains, V. Rao et G. Rochon (1977) Use of Clear Lake as Standard Reflectors for Atmospheric Measurements. p. 731-755 in *Proceedings of the XIth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Harbor, Michigan*.
- [2] Anderson, J. M. et S. B. Wilson (1984) The Physical Basis of Current Infrared Remote Sensing Techniques and the Interpretation of Data from Aerial Surveys. Review Article. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 5, no 1, p. 1-18.
- [3] Anderson, J. P., J. Wong et J. H. Chetwynd (1995) MODTRAN3: An Update on Recent Validations Against Airborne High Resolution Interferometer Measurement. p. 5-8 in *Summaries of the Fifth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication no 95-1, Vol. 1, Pasadena, CA.
- [4] Bannari, A., D. Morin et D. C. He (1997) Caractérisation de l'environnement urbain à l'aide d'indices de végétation dérivés des données de haute résolution spatiale et spectrale. p. 47-64 in *Téledétection des milieux urbains et périurbains*, Actes des Journées scientifiques de Liège, AUPELF/UREF Éd., Montréal
- [5] Baudot, Y. (1997) L'influence de la résolution effective des données de télédétection sur les possibilités d'analyse des milieux urbains complexes. p. 3-13 in *Téledétection des milieux urbains et périurbains*, Actes des Journées scientifiques de Liège, AUPELF/UREF Éd., Montréal.
- [6] Baudouin, Y. (1992) *Développement d'un système d'analyse d'images satellites pour la cartographie de l'occupation du sol en milieu urbain*. Thèse de doctorat, Département de géographie, Université de Montréal, Montréal, 265 p.

- [7] Baudouin, Y., F. Cavayas et C. Marois (1995) Vers une nouvelle méthode d'inventaire et de mise à jour de l'occupation/utilisation du sol en milieu urbain. *Journal canadien de télédétection*, vol. 21, no 1, p. 28-42.
- [8] Berk, A., L. S. Bernstein et D. C. Robertson (1989) *MODTRAN. A Moderate Resolution Model for LOWTRAN7*. Final Report, GL-TR-0122, AFGL, Hanscom AFB, Maryland, 42 p.
- [9] Boisvert, J. B. (1993) *Modélisation du signal radar en milieu stratifié et évaluation des techniques de mesure de l'humidité des sols*. Thèse de doctorat, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, 160 p.
- [10] Bonn, F. (réd.) (1996) *Précis de télédétection, Volume 2, Applications thématiques*. PUQ/AUPELF, Sainte-Foy, 633 p.
- [11] Bonn, F. et Rochon, G. (1992) *Précis de télédétection, Volume 1, Principes et méthodes*. PUQ/AUPELF, Sainte-Foy, 485 p.
- [12] Callot, Y., C. Mering et A. Simonin (1994) Image-analysis and Cartography of Sand Hill Massifs on High Resolution Images: Application to the Great Western Erg (NW of Algerian Sahara). *International Journal of Remote Sensing*, vol. 15, no 18, p. 3799-3822.
- [13] Caloz, R. (1992) *Télédétection satellitaire*. École polytechnique fédérale de Lausanne Éd., Département de génie rural, Institut d'aménagement des terres et des eaux/Hydrologie et aménagement, 136 p.
- [14] CD ROM (1998) *Le suivi des désastres naturels par RADARSAT: l'inondation de la Rivière Rouge, 1997/RADARSAT Monitors Natural Disasters: The Red River Flood of 1997*. Agence spatiale canadienne, Centre canadien de télédétection, Radarsat International Ottawa.
- [15] Chaume, R. et J. Champaud (1992) *Croissance urbaine, environnement et imagerie satellitaire*. Convention CEE/ORSTOM 946/1990-24, Rapport d'étape, Montpellier, 192 p.

- [16] Davis, F. W. et D. S. Simonett (1991) *GIS and Remote Sensing*. Chapitre 14 in *Geographical Information Systems : volume I: Principles*, p. 191-213, D. J. Maguire, M. F. Goodchild et W. Rhind Éd., New York, Longman Scientific & Technical.
- [17] De Sève, D. (1995) *Élaboration d'une méthode d'identification de linéaments à l'aide de la télédétection : étude de l'astroblème de Charlevoix*. Mémoire de maîtrise, Département de géographie, Université du Québec à Montréal, 85 p.
- [18] De Sève, D., R. Desjardins et T. Toutin (1994) Contribution des données radar d'ERS-1 dans l'appréhension de l'organisation des linéaments : le cas de l'astroblème de Charlevoix. *Journal canadien de télédétection*, vol. 20, no 3, p. 233-244.
- [19] Desjardins, R. (1989) *Anomalies thermiques et drainage des terres agricoles*. Thèse de doctorat, Département de géographie, Université de Montréal, 242 p.
- [20] Desjardins, R. et F. Cavayas (1991) Possibilités et limites des images satellites TM Landsat en matière d'occupation du sol : le cas de Montréal (Québec). *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 35, no 94, p. 137-151.
- [21] Desjardins, R., F. Bonn et J. Gray (1992) Photo-interprétation de pixels dans la bande TM 6 de Landsat à l'aide de données aéroportées. *Photo-interprétation*, no 1991/92-3 et 4, p.147-160.
- [22] Donnay, J. P. (1997) Conclusion, p. 357-361 *Télédétection des milieux urbains et périurbains. Actes des Journées scientifiques de Liège*, AUPELF/UREF Éd., Montréal.
- [23] Drury, S. A. (1990) *A Guide to Remote Sensing. Interpreting Images of the Earth*. Oxford Science Publications, Oxford University Press, Oxford, 199 p.

- [24] Eastman, R. J. (1997) *IDRISI for Windows/User's guide*. Version 2.0, Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark university, Worcester, Ma., 370 p.
- [25] Eastman, R. J. (1992) *IDRISI/Technical Reference*. DOS, Version 4.0, Graduate School of Geography, Clark University, Worcester, Ma., 178 p.
- [26] Elhers, M. (1990) Remote Sensing and Geographic Information Systems : Toward Integrated Spatial Information Processing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, no 28(4), p. 763-766.
- [27] Estes, J. E., E. J. Hajic et L. R. Tinney (1983) *Fundamentals of Image Analysis: Analysis of Visible and Thermal Infrared Data*. Chapitre 24 du Manual of Remote Sensing, 2^e édition, R. N. Colwell Ed., American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA, 2440 p.
- [28] Foulquier, P. (1961) *La connaissance*. Éditions de l'École, Paris, 500 p.
- [29] Gagnon, H. (1974) *La photo aérienne. Son interprétation dans les études de l'environnement et de l'aménagement du territoire*. Les Éditions HRW, Montréal, 278 p.
- [30] Girard, M. C. et C. M. Girard (1989) *Télédétection appliquée/Zones tempérées et intertropicales*. Masson Éd., Collection Sciences agronomiques., Paris, 260 p.
- [31] Gregory, A. F. et H. D. Moore (1986) Thematic Mapping from Landsat and Collateral Data: a Review of One Company's Experience and Forecast of Future Potential. *Journal canadien de télédétection*, vol. 12, no 1, p. 55-63.
- [32] Grenier, M., M. C. Mouchot, G. Létourneau et M. Melançon (1991) *Évaluation de la qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent par télédétection aéroportée*. Centre Saint-Laurent, Conservation et protection, Environnement Canada, 36 p.

- [33] Jensen, J. (1996) *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 2^e édition, Prentice Hall Éd., Upper Saddle River, NJ, 316 p.
- [34] Kneizys, F. X., E. P. Shettle, W. O. Gallery, J. H. Chetwynd jr, L. W. Abreu, J. E. A. Shelby, S. A. Clough et R. W. Fenn (1983) *Atmospheric Transmittance/Radiance: Computer Code LOWTRAN6*. AFGL, Optical Physics Division, Project 7670, #AFGL-TR-82-01-87, Hanscom AFB, 200 p.
- [35] Land Remote Sensing Policy (1998) *Land Remote Sensing Act of 1992. United States Code Title 15, Chapitre 82 de la section I, Publication L. 102-555*. <http://geo.arc.nasa.gov/edstaff/landsat/15USC82.html>
- [36] Le Quéré, P., P. Maupin, R. Desjardins, M. C. Mouchot et B. Solaiman (1997) Change Detection from Remotely Sensed Multi-temporal Images Using Morphological Operators. 3 p. *Actes du symposium IGARSS'97*, Singapour.
- [37] Lemieux, G. H., G. Vachon, M. Lebeuf, C. Brisson et Y. Tremblay (1994) *Évaluation et expérimentation des mesures de protection contre la dégradation des sols dans les bleuetières de la Sagamie*. Rapport final, Projet SE-18860572-040, Agriculture Canada, Laboratoire de télédétection, UQAC.
- [38] Levine, M. D. (1985) *Vision in Man and Machine*. McGraw Hill Éd., New York, 574 p.
- [39] Lillesand, T. M. et R. W. Kiefer (1994) *Remote Sensing and Image Interpretation*. 3^e édition, John Wiley and Sons. Toronto, 750 p.
- [40] Lopes, A., E. Nezry, R. Touzi et H. Laur (1993) Structure Detection and Statistical Adaptive Speckle Filtering in SAR Images. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 14, no 9, p. 1735-1758.
- [41] Lowman, P. D. (1969) *Apollo 9 Multispectral Photography-Geologic Analysis*. NASA, Goddard Space Flight Center, Rapport X-644-69-423, Greenbelt, Md.

- [42] Markham, B. L. et J. L. Barker (1986) Landsat MSS and TM Post-calibration Dynamic Ranges, Exo-atmospheric Reflectances and At-satellite Temperatures. *Landsat Technical Notes*, no 1, EOSAT, p. 3-8.
- [43] Maupin, P., B. Solaiman, M. C. Mouchot et R. Desjardins (1996) Mathematical Morphology, Urban Changes and Image-Oriented Geographic Information Systems. p. 1373-1375 in *Actes du symposium IGARSS'96*, Lincoln, Nebraska.
- [44] McLuhan, M. (1971) *Pour comprendre les médias. Les prolongements technologiques de l'homme*. HMH Éd., Collection H, Montréal, 390 p.
- [45] Meylan, P., C. Morzier et A. Muzy (1977) *Bases physiques de la télédétection. Application à l'hydrodynamique des sols*. École polytechnique fédérale de Lausanne, Institut de génie rural, 97 p. + annexes.
- [46] Myers, V.I. (1983) *Remote Sensing Application in Agriculture*. Chapitre 33 in *Manual of Remote Sensing*, 2^e édition, R. N. Colwell Éd., American Society of Photogrammetry, Falls Church, Va., p. 2111-2228.
- [47] The White house, National Science and Technology Council (1998) *National Space Policy, Directives présidentielles de 1996*, Gouvernement des États-Unis. <http://www2.whitehouse.gov/WH/EOP/OSTP/NSTC/html/PDD8.html>
- [48] Oke, T. R. (1978) *Boundary Layer and Climate*. Methuen Ed., London, 372 p.
- [49] Potvin, P. (1998) *La géomatique en agriculture de précision*. Hauts-Monts Recherche inc. Ed, 46 p.
- [50] Poupard, J. P. (1986) Libre réflexion sur la télédétection. *Bulletin de la S. F. P. T.*, no 104 (1986-4), p. 5-15.
- [51] Ramade, F. (1991) Population. Cette bombe qui menace la planète. *GÉO*, no 152, p. 172-181.

- [52] Renard, E. (1994) *Méthodologie appliquée : imagerie satellitaire et milieu urbain. Étude de Conakry, République de Guinée*. Mémoire de maîtrise, Université d'Aix-Marseille I, 147 p.
- [53] Renard, E., Y. Baudouin et P. Pourouchottamin (1997) Cartographie des modes d'occupation du sol à Conakry (Guinée) par intégration de données multisources. p. 35-45 in *Téledétection des milieux urbains et périurbains*, Actes des Journées scientifiques de Liège, AUPELF/UREF Éd., Montréal.
- [54] Robin, M. (1995) *La télédétection*. Nathan Ed., Collection Université/fac géographie, Paris, 318 p.
- [55] Rouse jr, J. W., R. H. Haas, J. A. Shell, D. W. Deering et J. C. Harland (1974) *Monitoring the Vernal Advancement and Retroradiation (Greenwave Effect) of Natural Vegetation*. Report No RSC 1978-4, Remote Sensing Center Texas A&M University, College Station, TX.
- [56] Ryerson, R. (1989) Image Interpretation Concerns of the 1990's and Lessons from the Past. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 55, no 10, p. 1427-1430.
- [57] Sabins Jr, F. F. (1987) *Remote Sensing Principles and Interpretation*. 2^e édition, Freeman Éd., New York, 449 p.
- [58] Salas, G. P. (1975) Relationship of Minerals Resources to Linear Features in Mexico as Determinated from Landsat Data. *US Geological Survey Professional Paper 1015*, Woll, P. W. et W. A. Fisher Éd, p. 61-82.
- [59] Schneider, D. J., W. I. Rose et L. Kelly (1995) Tracking of 1992 Eruption Clouds from Crater Peak Vent of Mount Spurr Volcano, Alaska, Using AVHRR. *US Geological Survey, Bulletin 2139*, p. 27-36.
- [60] Short, N.M. (1998) *Remote Sensing and Image Interpretation & Analysis*. CODE 935 Goddard Space Flighth Center, NASA. <http://rst.gsfc.nasa.gov/>

- [61] Schott, J. R. et W. J. Volchok (1985) Thematic Mapper Thermal Infrared Calibration. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 51, no 9, p. 1351-1357.
- [62] Service canadien des forêts/Centre de foresterie du Pacifique (1995) Vers l'interprétation automatique des images aériennes numériques et satellitaires de haute résolution spatiale (1 m/pixel). *Réseau sur l'aménagement du paysage* (réf : François A. Gougeon), Environnement Canada.
- [63] Spelke, E. S. (1990) Principles of Object Perception. *Cognitive Science*, no 14, p. 29-36.
- [64] Star, J. et Estes, J. (1990) *Geographic Information Systems. An Introduction*. Prentice Hall Ed, Englewood Cliffs, N.J., 303 p.
- [65] STAR/IMSAT (1998) STAR/IMSAT : une station de réception d'images satellitaires, Laboratoire de télédétection, Université du Québec à Chicoutimi, Québec http://www.callisto.si.usherb.ca/~reseautd/Journal/Numero_35/Organismes.html#UQAC
- [66] Sweet, R. J. M., J. C. Elliot et J. R. Beasley (1992) Research Needs to Encourage the Growth of the Earth Observation Application Market. Remote Sensing: From Research to operation. p. 399-407, in *Proceedings of the 18th Annual Conference of the Remote Sensing Society*, P. A. Cracknell et R. A. Vaughan Ed., University of Dundee, UK.
- [67] Tanré, D., E. Vermote, J. L. Deuze, M. Herman et J. J. Mocrete (1994) *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum. Computer Code 6S*. Guide des utilisateurs, 182 p.
- [68] Tanré, D., C. Deroo, P. Duhaut, M. Herman, J. J. Mocrete, J. Perbos et P. Y. Deschamps (1990) Description of a Computer Code to Simulate the Satellite Signal in the Solar Spectrum : the 5S Code. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 11, no 4, p. 659-668.

- [69] Teillet, P. M., D. N. H. Horler et N. T. O'Neill (1998) Étalonnage/validation et assurance de la qualité en télédétection: un nouveau paradigme. p. 3-12, in *Actes des Journées scientifiques de Sainte-Foy*, AS/AUPELF - UREF, Montréal.
- [70] Teillet, P. M. et R. Santer (1991) Terrain Elevation and Sensor Altitude Dependence in a Semi-analytical Atmospheric Code. *Journal canadien de télédétection*, vol. 17, no 1, p. 36-44.
- [71] Toutin, T. (1996) La correction géométrique rigoureuse: un mal nécessaire pour la santé de vos résultats. *Journal canadien de télédétection*, vol. 22, no 2, p. 184-189.
- [72] Toutin, T. et Y. Carbonneau (1992) La création d'ortho-images avec un MNE: description d'un nouveau système. *Journal canadien de télédétection*, vol. 18, no 3, p. 136-141.
- [73] Tucker, C. J. (1979) Red and Photographic Infrared Linear Combination for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, no 8, p. 127-150.
- [74] Ulaby, F. T., R. K. Moore et A. K. Fung (1982) *Microwave Remote Sensing Active and Passive*. Addison-Wesley Publishing Co, 3 volumes, 2162 p.
- [75] Verger, F. (réd.) (1997) *Atlas de géographie de l'espace*. Belin Éd., Paris, 319 p.
- [76] Wang, J. (1993) LINDA-A System for Automated Linear Feature Détection and Analysis. *Journal canadien de télédétection*, vol. 19, no 1, p. 9-21.
- [77] Williams Jr, R. S. (1983) *Geological Applications*. Chapitre 31 in *Manual of Remote Sensing*, 2^e édition, R. N. Colwell Ed., American Society of Photogrammetry, Falls Church, Va., p. 1667-1953.

LEXIQUE

Absorption

Rétention momentanée par un corps d'une partie de l'énergie incidente (provenant la plupart du temps du Soleil). Avec le temps, elle est transformée en une autre forme d'énergie (généralement de la chaleur).

Analyse en composantes principales

Originant de l'analyse factorielle, l'analyse en composantes principales est une technique classique d'extraction d'information qui met en relief la radiométrie des images en fonction de sa variance. Les composantes principales sont graphiquement perpendiculaires les unes aux autres et elles sont une manifestation de la décorrélation entre les informations. Elle est souvent utilisée afin d'éliminer la redondance entre les informations et, en conséquence, elle est souvent considérée comme une technique de compression de données.

Angle d'incidence

Angle que fait un rayonnement incident avec la normale au point d'incidence.

Angle de dépression

Angle défini par le plan horizontal de la plate-forme et l'axe principal du faisceau radar.

Angle de réflexion

Angle que fait un rayonnement réfléchi avec la normale au point d'incidence d'un rayonnement incident.

Angle de visée

Angle formé par l'axe du cône d'analyse du détecteur et la verticale du point de visée au moment de l'enregistrement.

Angle solaire

Angle entre la position du Soleil à un moment donné et un plan horizontal terrestre.

Arrangement

Disposition d'ensemble que présente l'organisation d'objets.

Bande spectrale

Portion du spectre électromagnétique qui correspond à la sensibilité ou à la capacité qu'a un capteur à détecter de l'information utile.

Bruit

Signal qui tend à masquer l'information utile dans l'acquisition, la transmission et la réception des données.

Caméra multibande

Appareil qui capte le rayonnement des objets terrestres en fonction de fenêtres spectrales pré-déterminées et qui les retransmet sous forme visuellement détectable.

Caméra numérique

Appareil qui capte le rayonnement incident d'objets ou de groupes d'objets et qui les transforme en valeurs numériques.

Caméra photographique

Appareil qui capte le rayonnement incident d'objets ou de groupes d'objets et qui les enregistre sous forme analogique par procédé photochimique sur une pellicule sensible à la lumière.

Caméra vidéo

Appareil qui vise à enregistrer et à transmettre en temps réel, lorsque nécessaire, une prise d'information pour une bande spectrale donnée ou en mode multibande (couleur).

Capteur

Terme général qui désigne un appareil conçu pour enregistrer l'énergie émise ou réfléchie d'un objet ou d'une série d'objets. Il engendre un signal analogique ou numérique qui peut être emmagasiné sur une plate-forme ou transmis vers une station de réception terrestre. Dans ce dernier cas, il est parfois nécessaire d'utiliser un satellite de relais.

Champ de visée instantané

Valeur angulaire à partir du capteur entre les lignes qui sous-tendent la plus petite surface détectable dans un espace donné.

Chatoiement

Ensemble de différences radiométriques sur l'image qui engendre des teintes fluctuant drastiquement d'un pixel à l'autre. C'est un problème particulièrement présent sur les images radar.

Colonne atmosphérique

Espace atmosphérique tri-dimensionnel qui se localise entre la cible et le capteur. En physique, elle correspond à la luminance de parcours.

Composé couleur

Représentation en couleur d'un objet ou une série d'objets dont les informations numériques, provenant de fenêtres spectrales différentes, sont combinées ensemble grâce à des techniques connues tels le RVB ou l'ITS.

Constante diélectrique

Propriété d'un diélectrique d'affaiblir les forces manifestées par un champ électrostatique. La constante est une mesure de cet affaiblissement.

Coordonnées

Localisation d'un point dans l'espace en fonction d'un système de référence particulier.

Correction atmosphérique

Compensation mathématique de l'énergie émise ou réfléchiée par les composantes de l'atmosphère dans le but de trouver la valeur de luminance vraie des objets terrestres.

Correction géométrique

Correction appliquée à une image afin qu'elle puisse être parfaitement superposable à une autre image ou tout autre document illustrant le même espace.

Correction radiométrique

Correction appliquée à une image afin que les valeurs de luminance qui s'y trouvent correspondent à la réalité du terrain.

Développement durable

Le Principe 3 de la Déclaration de Rio explique bien le concept de développement durable : « Le droit au développement doit être réalisé de façon à satisfaire équitablement les besoins relatifs au développement et à l'environnement des générations présentes et futures ».

Diffusion atmosphérique

Réflexion omnidirectionnelle du rayonnement solaire incident lorsqu'il entre en contact avec les composantes moléculaires et particulaires de l'atmosphère.

Dilatation

Technique utilisée dans le cadre de la morphologie mathématique qui aide à identifier des formes à partir d'un élément structurant en amplifiant (ou épaisissant) la forme originelle créée par un ensemble de pixels.

Donnée auxiliaire

Toute information utile à une meilleure identification ou compréhension d'un objet, d'une série d'objets ou de phénomènes. Elle peut être sous forme de fichiers préalables aux images numériques sur un support informatique ou peut correspondre à une série d'informations analogiques ou numériques provenant d'autres sources que l'image utilisée (réalité de terrain, cartes, photographies aériennes, etc).

Échelle

Rapport entre une distance sur un document et la distance réelle sur le terrain. Normalement, elle se présente sous forme graphique ou numérique.

Émission

Production d'une quantité d'énergie par un objet en fonction de sa température et de ses propriétés radiatives.

Énergie émise

Énergie rayonnée par un objet dans toutes les longueurs d'onde en fonction de sa température.

Énergie réfléchie

Portion de l'énergie incidente qui n'est pas absorbée, ni transmise par un objet. Elle «rebondit» en quelque sorte sur la surface de cet objet et est détectée par des capteurs équipés à cet effet.

Énergie rétrodiffusée (rétrodiffusion)

Portion de l'énergie qui, après avoir traversé un milieu dispersant, se diffuse en partie dans la direction de la source. Ce terme est souvent utilisé dans le domaine des hyperfréquences actives.

Érosion

Technique utilisée dans le cadre de la morphologie mathématique qui aide à identifier des formes à partir d'un élément structurant en atténuant (ou amincissant) la forme originelle créée par un ensemble de pixels.

Fenêtre spectrale

Portion du spectre électromagnétique dans laquelle la transmittance de l'atmosphère est optimale. Ceci permet à l'énergie solaire incidente d'atteindre les objets terrestres par l'intermédiaire de bandes ayant des longueurs d'onde définies en fonction des propriétés physico-chimiques des constituantes atmosphériques.

Forme

Ensemble des contours d'un objet résultant de la structure de ses parties.

Géoréférencé

Image redressée géométriquement dans le but de la superposer à des documents cartographiques numériques réalisés à partir d'un système de représentation de la Terre.

Géosynchrone (ou géostationnaire)

Se dit d'une plate-forme qui est apparemment toujours située au-dessus du même point terrestre. En somme, sa vitesse de rotation est identique à la vitesse angulaire de la rotation de la Terre. En pratique, elle se situe dans le plan de l'équateur à 36 000 km de la Terre.

Héliosynchrone

Se dit d'une plate-forme dont l'orbite lui permet de survoler un endroit donné toujours à la même heure, quelle que soit sa répétitivité.

Image

Représentation visuelle d'un objet ou d'une série d'objets dont la teinte, l'intensité et la saturation des couleurs dépendent de leur propriété intrinsèque. Le tout est structuré en fonction de règles naturelles ou anthropiques. L'image peut être numérique (matrice de chiffres) ou continue (photographie).

Indice de végétation

Valeur numérique obtenue par la combinaison (souvent un rapport) entre les réponses spectrales de la végétation dans les bandes du visible et de l'infrarouge.

Irradiance solaire

Exposition de la surface d'un objet ou d'une série d'objets à l'énergie solaire incidente.

Lignage

Bruit (interférence) provenant des capteurs. Il se manifeste par la présence d'une série de lignes horizontales ou verticales qui revient de façon régulière sur l'image.

Lissage

Opération statistique qui permet d'approximer ou d'estimer l'ensemble de données sans toutefois nuire à la perception des variations qui y sont inscrites.

Longueur d'onde

Distance entre deux oscillations d'un champ électrique ou magnétique.

Luminance

Valeur physique de l'intensité d'énergie émise ou réfléchie par un objet ou une série d'objets en fonction d'une direction donnée. Elle est souvent exprimée en watt par mètre carré par stéradian ($\text{w.m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$).

Luminance de parcours

Quantité d'énergie émise ou réfléchie par la colonne atmosphérique enregistrable par des capteurs.

Luminance hémisphérique

Valeur physique de l'intensité d'énergie émise ou réfléchiée par l'atmosphère dans toutes les directions.

Modèle numérique d'altitude (MNA)/modèle numérique de terrain (MNT)

Représentation numérique de la topographie d'un paysage dont la précision altimétrique varie en fonction de l'équidistance des courbes de niveau.

Multibande

Se dit d'un instrument (capteur) qui est capable de détecter simultanément les informations provenant de plusieurs fenêtres spectrales et ce, dans leurs canaux respectifs déterminés par la technologie utilisée.

Panchromatique

Mode d'acquisition qui est capable de détecter toutes les ondes sensibles à la lumière.

Patron d'antenne

Modèle selon lequel le faisceau d'énergie d'un émetteur/récepteur est distribué.

Photographie

Technique qui permet l'enregistrement en continu d'image par l'action d'une source lumineuse sur une surface sensible.

Pixel

Acronyme de *picture element*. Il s'agit de la plus petite surface discernable sur une image discrète.

Pixel mixte

Pixel contenant la sommation de réponses spectrales provenant d'objets différents.

Plate-forme

Support terrestre, aérien ou satellitaire qui peut contenir des capteurs ainsi que tous les instruments nécessaires à l'enregistrement de l'information.

Polarisation

Manière dont se distribuent les amplitudes des radiations dans le plan perpendiculaire à leur direction de propagation. Dans le domaine des hyperfréquences

actives, elle peut être parallèle : HH (horizontal-horizontal), VV (vertical-vertical), ou croisée : HV (horizontal-vertical) et VH (vertical-horizontal) à cause du trajet aller-retour.

Profondeur de pénétration

Capacité qu'a un rayonnement électromagnétique à pénétrer un objet ou une série d'objets avant d'être complètement absorbé.

Radar

Acronyme provenant de *Radio Detecting And Ranging*. Il désigne un appareil qui émet de brèves impulsions et qui reçoit leur écho entre deux émissions.

Radiomètre imageur

Instrument qui permet d'enregistrer l'énergie incidente provenant d'un objet ou d'une série d'objets et de la transformer en image.

Rayonnement électromagnétique

Énergie sous forme d'ondes de longueur plus ou moins grande lesquelles, au contact avec un objet ou une série d'objets, permettent de les caractériser et de les distinguer entre eux.

Réalité de terrain

Information provenant du terrain ou de documents illustrant différentes caractéristiques de ce terrain (cartes, photographies aériennes). Elle peut aider à confirmer ou à infirmer la définition d'un objet ou d'une série d'objets, et à faciliter l'analyse spatiale du territoire contenu dans l'image satellitale étudiée.

Réflectance

Rapport entre l'énergie réfléchie sur un objet ou une série d'objets par rapport à l'énergie incidente.

Réflexion

Lorsque le rayonnement électromagnétique incident entre en contact avec un objet ou une série d'objets, il est partiellement réfléchi. Cette réflexion peut être spéculaire c'est-à-dire à la normale du rayonnement incident ou diffuse, c'est-à-dire omnidirectionnelle.

Réponse spectrale, réponse spectrale relative

Résultat de l'interaction entre le rayonnement incident et un objet, ou une série d'objets en fonction de la longueur d'onde, du rayonnement incident et de la cible. L'objet réfléchira ou émettra une réponse qui lui est propre. La réponse spectrale relative d'un capteur correspond à la quantité d'énergie enregistrée par rapport à l'énergie totale disponible en fonction de la longueur d'onde.

Résolution

Capacité qu'a un capteur à distinguer deux niveaux d'information. Elle peut être spectrale (longueurs d'onde), spatiale (éléments de surface), radiométrique (énergie) ou temporelle (temps).

Roulis

Mouvement alternatif transversal d'une plate-forme.

Rugosité de surface

Irrégularités morphologiques à la surface d'un objet ou d'une série d'objets qui déterminent le retour du signal. Ceci est particulièrement important dans le domaine des hyperfréquences actives.

Satellite à défilement

Plate-forme dont la position est variable par rapport à un point de la Terre.

Scanneur

Radiomètre équipé d'un système de balayage (souvent un miroir rotatif) qui permet d'enregistrer, en synchronisation avec la vitesse de la plate-forme, l'information terrestre ou planétaire dans le but d'obtenir une image.

Signal

Énergie qui est émise sous forme de courant électrique et qui est reçue dans une station de captage afin d'être transformée en information numérique ou visuelle.

Signature spatiale

Arrangement des caractéristiques d'un objet ou d'une série d'objets qui permet de les identifier.

Signature spectrale

Variations spectrales des propriétés d'un objet ou d'une série d'objets (réflexion, émission) qui sont déterminées par la nature de ces derniers. Elles sont théoriquement distinctes les unes des autres, au même titre que des empreintes digitales.

Spectre électromagnétique

Représentation graphique des longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique que l'on trouve dans la nature.

Station de réception au sol

Installations terrestres, la plupart du temps fixes, qui permettent d'enregistrer et de transformer les informations envoyées par les plates-formes satellitales.

Stéréoscopie

Effet de vision tridimensionnelle engendré par l'observation binoculaire d'un objet ou d'une série d'objets vus sous deux angles de visée différents.

Système à balayage optique et mécanique

Ensemble d'instruments qui permet d'enregistrer de manière optique des informations terrestres à partir de balayeurs ayant un dispositif mécanique rotatif.

Système à barrette de détecteurs

Ensemble d'instruments qui permet d'enregistrer à l'aide de diodes photoélectriques, couplées à un système de lecture numérique, les informations émises ou réfléchies d'un objet ou d'une série d'objets.

Système d'information géographique (SIG)

Ensemble de méthodes et de techniques qui permet de traiter et d'analyser les informations à caractère géographique. En général, ces systèmes servent à la gestion, à la surveillance et à l'analyse spatiale d'un territoire et ce, de l'échelle locale à l'échelle planétaire.

Tangage

Mouvement alternatif longitudinal d'une plate-forme.

Teinte

Terme utilisé pour définir la tonalité chromatique d'un objet ou d'une série d'objets.

Température apparente

Température d'un objet ou d'une série d'objets qui est détectée par un capteur, sans tenir compte de l'influence d'effets externes tels que l'atmosphère, ou d'effets de surface comme l'émissivité.

Texture

Groupe de pixels connexes dotés des mêmes propriétés radiométriques qui, vu dans leur ensemble, suggère un motif original par rapport à leur entourage.

Transmittance

Rapport entre l'énergie transmise par un objet ou une série d'objets par rapport à l'énergie incidente.

Valeurs numériques

Valeur que prend un pixel en fonction de la quantité d'énergie (lumineuse ou autre) qu'il contient. L'étalement de ces valeurs se situe habituellement entre 8 et 16 bits.

Visée nadirale

Visée en direction du sol qui correspond à une ligne suivant la normale de celle d'une plate-forme parfaitement horizontale.

Visible

Tout type d'énergie qui peut être détecté par l'œil humain. Cette équipe correspond à celle située dans la bande spectrale 0,40-0,70 μm .

IMPRIMERIE OFFSET SERVICE
28500 Vernouillet



La collection **Universités francophones**, créée en 1988 à l'initiative de l'Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche, propose des ouvrages modernes répondant prioritairement aux besoins des étudiants et chercheurs francophones, et se compose de titres originaux paraissant régulièrement.

Leurs auteurs appartiennent conjointement aux pays du Sud et du Nord et rendent compte des résultats de recherches et des études récentes entreprises en français à travers le monde. Ils permettent à cette collection pluridisciplinaire de couvrir progressivement l'ensemble des enseignements universitaires en français.

Enfin, la vente à un prix préférentiel, des ouvrages destinés aux pays du Sud tient compte des exigences économiques nationales et assure une diffusion adaptée aux pays francophones.

Ainsi, la collection **Universités francophones** constitue une bibliothèque universitaire de référence riche et complète répondant aux besoins de l'étudiant, du chercheur et du professionnel.

Prix 59 FF • Prix préférentiel UREF (Afrique, Asie, Amérique Latine, Moyen-Orient, Haïti) : 10



9 782843 710797

ISBN 2-84371-079-0