

Détection des unités d'utilisation et de couverture du sol urbain au moyen d'une simulation SPOT

Lise Charbonneau, Denis Morin and Richard Brochu

Volume 29, Number 76, 1985

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/021692ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/021692ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Département de géographie de l'Université Laval

ISSN

0007-9766 (print)

1708-8968 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Charbonneau, L., Morin, D. & Brochu, R. (1985). Détection des unités d'utilisation et de couverture du sol urbain au moyen d'une simulation SPOT. *Cahiers de géographie du Québec*, 29(76), 29–47. <https://doi.org/10.7202/021692ar>

Article abstract

The purpose was to evaluate the capacity of the future satellite SPOT to detect land use/cover in an urban milieu. A SPOT simulation over the Sherbrooke area was flown during the summer of 1982. After spectral and spatial resampling of the data, we obtained results which are comparable to SPOT characteristics. Remote sensing is thus both useful for land use/cover classification as well as updating data bases in urban milieu.

DÉTECTION DES UNITÉS D'UTILISATION ET DE COUVERTURE DU SOL URBAIN AU MOYEN D'UNE SIMULATION SPOT

par

Lise CHARBONNEAU, Denis MORIN et Richard BROCHU

*Laboratoire de télédétection, Département de géographie,
Université de Sherbrooke, Sherbrooke, J1K 2R1*

RÉSUMÉ

La méthode utilisée consiste à classifier l'utilisation et la couverture du sol de l'agglomération urbaine de Sherbrooke avec l'aide d'images numériques acquises par un capteur aéroporté. Un survol de simulation du futur satellite SPOT a été effectué sur la région de Sherbrooke à l'aide du balayeur Daedalus multibande (DS1260) du Centre canadien de télédétection. Ce survol nous a permis d'estimer les possibilités du futur satellite SPOT pour la détection des phénomènes urbains. La télédétection des zones urbaines permettra la cartographie de ces unités d'utilisation et de couverture du sol ainsi qu'une remise à jour régulière des documents.

MOTS-CLÉS: Télédétection, milieu urbain, simulation SPOT, agglomération de Sherbrooke, classification supervisée, utilisation du sol.

ABSTRACT

Identification of Land Uses in Urban Area Using SPOT Simulation

The purpose was to evaluate the capacity of the future satellite SPOT to detect land use/cover in an urban milieu. A SPOT simulation over the Sherbrooke area was flown during the summer of 1982. After spectral and spatial resampling of the data, we obtained results which are comparable to SPOT characteristics. Remote sensing is thus both useful for land use/cover classification as well as updating data bases in urban milieu.

KEY WORDS: Remote sensing, urban areas, SPOT simulation, Sherbrooke region, supervised classification, land use.

*
* *
*

Les recherches en télédétection se sont surtout développées depuis 1972 avec l'avènement des satellites de la série LANDSAT 1, 2, 3¹. Nous entendons par télédétection l'acquisition d'information depuis un capteur situé sur une plate-forme aéroportée ou spatiale.

Peu de chercheurs se sont intéressés à l'analyse du milieu urbain par télédétection. La résolution spatiale inadéquate des satellites de la première génération (80 m)

explique ce manque d'intérêt. Cette résolution n'a permis jusqu'à présent que la distinction d'ensemble tels que les centres-villes, les zones résidentielles et les franges urbaines (Ballut, 1982). La résolution spatiale étant la plus petite surface décelable sur une image numérique (Paul *et al*, 1982), les résolutions améliorées des satellites LANDSAT-5 (30 m) et prochainement SPOT (20 m) raviveront l'intérêt pour l'utilisation des données obtenues par télédétection pour l'étude du milieu urbain.

L'apport de la télédétection à l'analyse du milieu urbain sera surtout bénéfique pour la planification et la gestion des ressources de ce milieu. Ce nouvel outil de travail facilitera la remise à jour des cartes d'utilisation du sol urbain par suite du passage périodique — intervalle de 26 jours — du futur satellite au-dessus de la même région. Actuellement, la mise à jour est réalisée à partir d'enquêtes sur le terrain et de l'interprétation de photographies aériennes. Ces méthodes s'avèrent longues et coûteuses.

BUTS ET OBJECTIFS

Cette étude vise à classifier les types d'utilisation et de couverture du sol urbain au moyen de données de télédétection². Un des avantages de la détection de l'utilisation du sol urbain par satellite est, d'une part, la vision synoptique qu'elle procure : la couverture d'une ville nécessitant généralement une seule image. D'autre part, la régularité des données par satellite permettra une mise à jour fréquente des cartes d'utilisation du sol urbain.

L'objectif visé par cette étude consiste en une évaluation des possibilités du futur satellite SPOT pour la détection de l'utilisation du sol urbain. Nous avons utilisé des images simulant l'information attendue du satellite. Ces images furent obtenues à partir d'un survol de simulation.

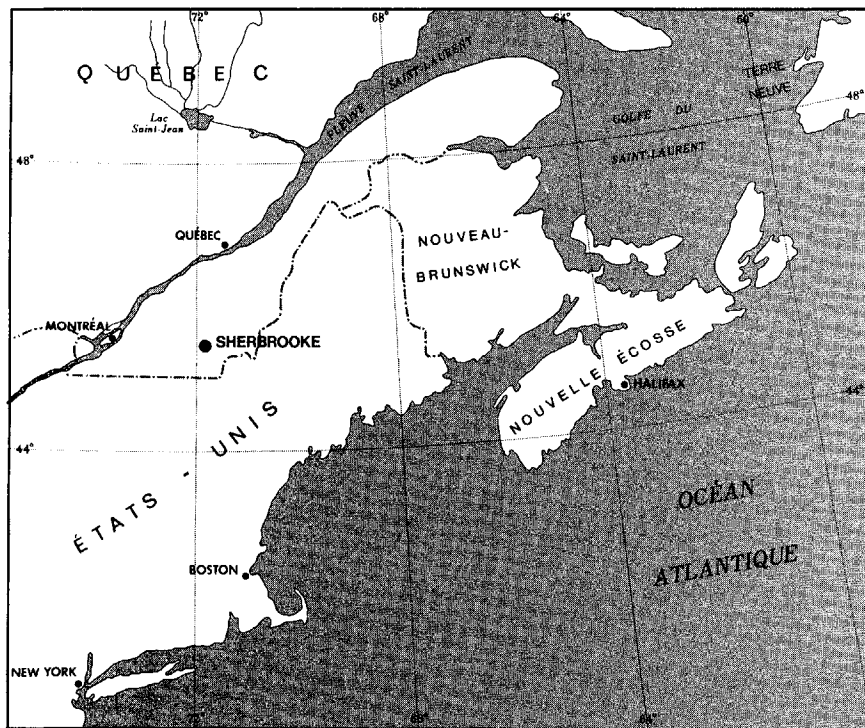
PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE

Le secteur analysé se situe à environ 150 kilomètres au sud-est de Montréal (figure 1). La zone urbaine comprend la ville de Sherbrooke ainsi qu'une partie des municipalités limitrophes, soit Rock Forest, Ascot Corner et Fleurimont. Le terme d'agglomération urbaine est utilisé même s'il ne correspond pas à la définition exacte retenue par Statistique Canada. Localisée dans les vallées des rivières Saint-François et Magog, l'agglomération de Sherbrooke compte 117 324 habitants (tableau 1). Elle occupe un site au relief relativement accidenté d'où un morcellement de l'utilisation du sol.

RÉALISATION DE LA SIMULATION

La réalisation d'une simulation nécessite quelques étapes de traitement afin d'obtenir un produit comparable aux caractéristiques des images qui seront obtenues du satellite SPOT. Nous devons corriger les effets dus aux variations d'angles de visée, produire une simulation spectrale et un « rééchantillonnage » spatial des données brutes.

Figure 1



LOCALISATION DU SECTEUR D'ÉTUDE.

Tableau 1

Présentation du site d'étude	Population en 1981*	Superficie en km ² (1981)*
Ville de Sherbrooke	74 070	56,1
Agglomération de recensement	117 324	726,95
Site d'étude.....	100 322	103,96

* Canada, Statistique Canada (1981) catalogue 95-932, p. 1.1-1.12.

Toutefois, il est entendu que cette simulation n'est qu'une approximation mais elle nous permet de mieux évaluer les possibilités du futur satellite français pour les analyses en territoire urbain.

Caractéristiques du capteur Daedalus (DS1260)

Une série de survols de simulation a permis de couvrir la région de Sherbrooke durant l'été 1982; le capteur Daedalus (DS1260) du Centre canadien de télédétection a été employé pour l'acquisition des données (tableau 2). Le balayeur Daedalus

Tableau 2
Caractéristiques du vol de simulation

Avion	Falcon Jet
altitude moyenne	4 876 m
Direction de vol	est-ouest
Position du soleil	sud-est
Vitesse moyenne	309 nœuds
Date du vol	10 juin 1982
Heure locale	8:56 am
Conditions atmosphériques	ciel clair, chaud et humide
Résolution brute	10 m en colonne 12 m en ligne

multibande (DS1260) est un capteur à miroir rotatif. Il enregistre des données dans onze canaux différents soit de 0,390 micromètre à 1,75 micromètres de la région du spectre électromagnétique (Zwick *et al.*, 1980) (tableau 3). Les données numériques nous sont parvenues sur bandes magnétiques dans un format compatible avec ordinateur.

Tableau 3
Comparaison des intervalles spectraux des capteurs Daedalus et HRV et SPOT

* 1 <i>Daedalus (DS1260)</i>	* 2 <i>HRV (SPOT)</i>
1. 0,390-0,415 microns	
2. 0,415-0,450	
3. 0,445-0,495	
4. 0,500-0,550	S1 0,497-0,585 microns
5. 0,550-0,595	
6. 0,590-0,645	S2 0,616-0,675
7. 0,625-0,690	
8. 0,680-0,780	
9. 0,765-0,895	S3 0,788-0,894
10. 0,865-1,003	
11. 1,550-1,750	

* 1 (Zwick *et al.*, 1980, p. 645).

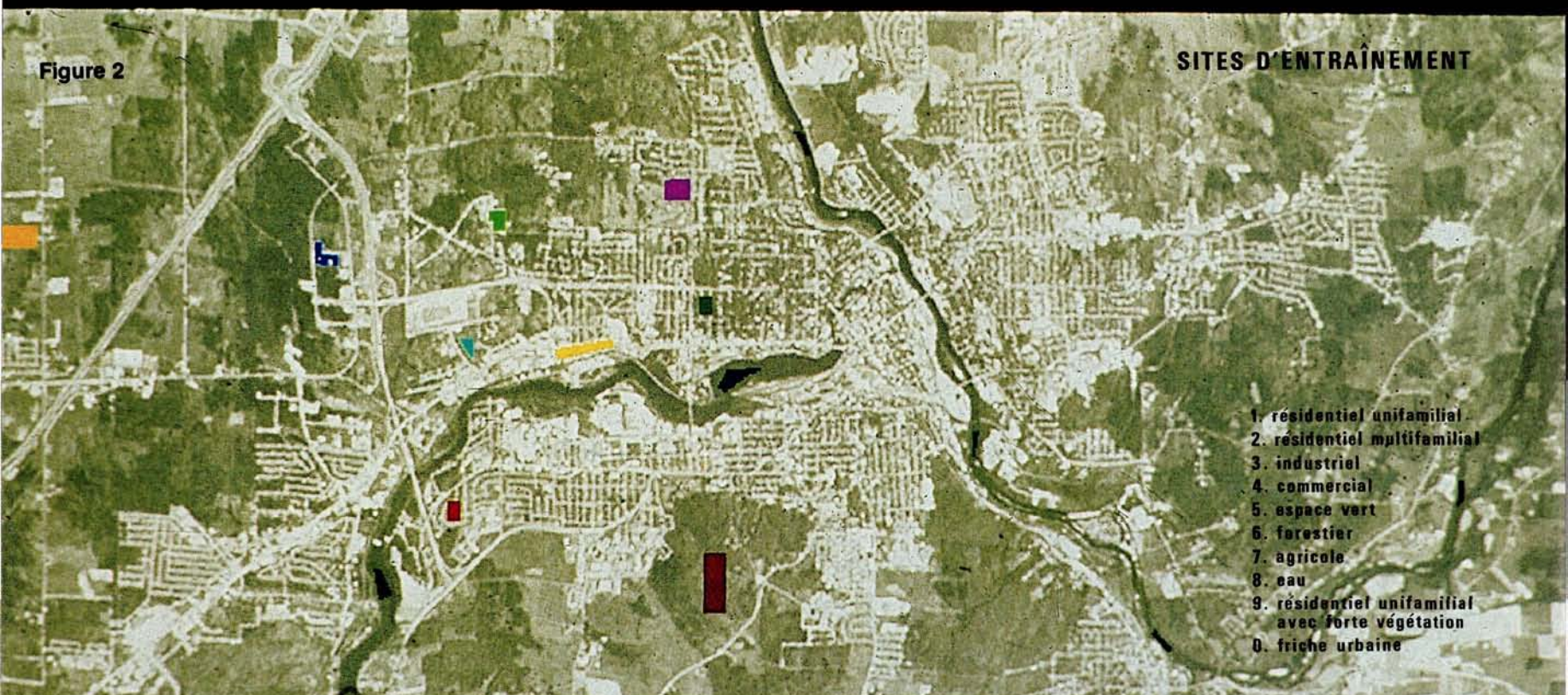
* 2 (SPOT, système de télédétection par satellite, CNES (s.d.), p. 6).

Correction de l'illumination

Le visionnement de l'image de la ligne de vol est-ouest présentait une variation des valeurs de radiance des éléments sur l'ensemble du secteur à l'étude. On a constaté visuellement que cette variation procurait des réponses spectrales de plus en plus élevées pour la zone de l'image située à l'opposé du soleil (Carignan *et al.*, 1983).

Figure 2

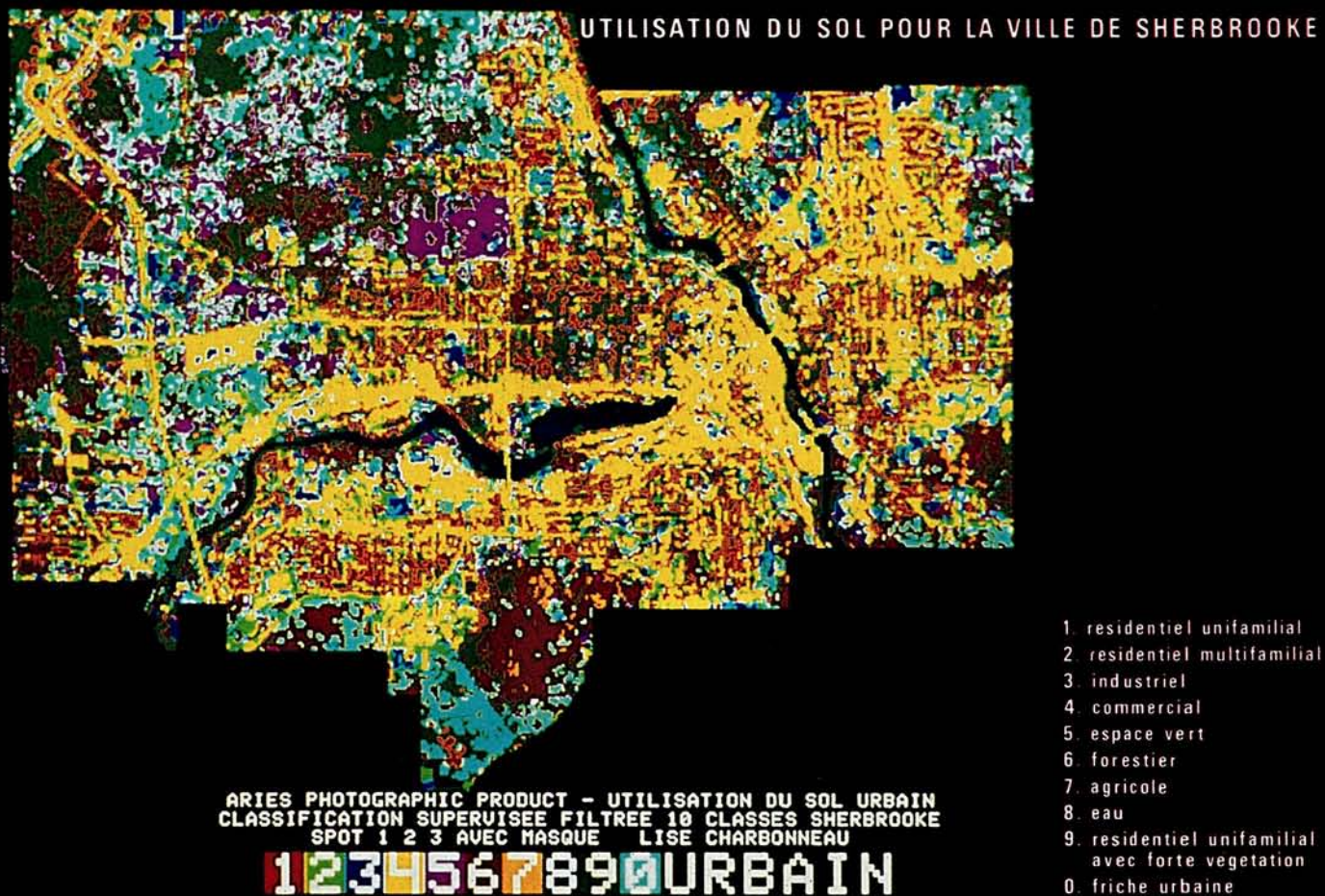
SITES D'ENTRAÎNEMENT

- 
1. résidentiel unifamilial
 2. résidentiel multifamilial
 3. industriel
 4. commercial
 5. espace vert
 6. forestier
 7. agricole
 8. eau
 9. résidentiel unifamilial avec forte végétation
 0. friche urbaine

ARIES PHOTOGRAPHIC PRODUCT - SITES D'ENTRAÎNEMENT
ZONE URBAINE DE SHERBROOKE 10 JUIN 1982
SITES + CANAL 2 DE SPOT LISE CHARBONNEAU

1234567890URBAINRUB

Figure 3



Une correction effectuée à l'aide d'une équation de régression du second degré fut appliquée afin d'atténuer les effets dus aux variations d'angles de visée. L'équation a été calculée à partir du profil de luminosité (moyenne pour 716 pixels sur 1 400 lignes pour chaque bande spectrale).

On obtient ainsi les valeurs de l'image-modèle que l'on soustrait à l'image brute. On ajoute à ce résultat la moyenne générale de l'image brute. La correction se formule ainsi :

$$A = [B - P_{(c)}] + \bar{B}$$

A : bande corrigée
 B : bande brute
 $P_{(c)}$: bande-modèle (polynôme du second degré)
 $\bar{B}$: moyenne générale de la bande brute

(Brown *et al*, 1981).

La méthode utilisée élimine en partie les erreurs additives puisque nous normalisons les moyennes mais elle ne corrige pas les erreurs multiplicatives. L'effet de variation sur l'image n'est pas entièrement corrigé, mais nous le croyons suffisamment atténué pour qu'il n'affecte de façon significative les résultats escomptés.

Simulation spectrale

La simulation spectrale des canaux du satellite SPOT s'effectue à partir des intervalles du capteur Daedalus. Nous simulons les intervalles spectraux de SPOT en additionnant les canaux Daedalus pondérés correspondants (Simard, 1981).

La précision de la simulation spectrale de SPOT se trouve augmentée en ajoutant aux coefficients de pondération une compensation pour les différences de sensibilité (relative sensibility) et une compensation nulle (zero offset at gain used) pour chaque canal du Daedalus (Ahern, 1982).

L'ensemble des paramètres étant déterminés, nous pouvons additionner les divers canaux du Daedalus nécessaires à la simulation de SPOT multibande ; suivant la relation :

$$S = I_i * (W_i/G_iR_i) + I_j * (W_j/G_jR_j)$$

S : bande SPOT simulée
 I : intensité brute des canaux i et j
 W : coefficient de pondération des canaux i et j
 G : gain
 R : réponse normalisée (normalised responsivity)

« Rééchantillonnage » spatial

Les données simulées spectralement sont « rééchantillonnées » spatialement de façon à ce que la valeur de chaque pixel brut à 12 mètres devienne conforme à la résolution spatiale de SPOT, soit 20 mètres en mode multibande.

La valeur des données aéroportées est recalculée selon une méthode de « rééchantillonnage ». L'algorithme de calcul, une convolution de fonction sinusoïdale, considère la valeur des seize plus proches pixels (Lillesand et Kiefer, 1979).

Tableau 4
Simulation spectrale des canaux SPOT

Canaux SPOT	Canaux Daedalus	*1 G	*2 Z	*2 R	*3 W	W/GR	(W/GR) Σ (W/GR)
1	4	2	19,4	1,5	0,595	0,1983	0,5186
	5	2	19,4	1,1	0,405	0,1841	0,4814
						Σ 0,3824	
2	6	2	19,7	1,1	0,255	0,1159	0,2880
	7	2	18,7	1,3	0,745	0,2865	0,7120
						Σ 0,4024	
3	9						1,0

SPOT 1: $D4 \cdot 0,5186 + D5 \cdot 0,4814$

SPOT 2: $D6 \cdot 0,2880 + D7 \cdot 0,7120$

SPOT 3: $D9$

*1 (Fiche explicative du survol, juin 1982).

*2 (Zwick *et al.*, 1980, p. 645).

*3 (Simard, 1981, p. 11).

Il est important de rappeler que les données provenant d'un survol de simulation demeurent une approximation de ce que nous fournira le satellite.

La résolution spectrale des données a été simulée afin d'obtenir une résolution semblable aux données qui seront fournies par le satellite. Effectuée par un jumelage des intervalles spectraux du Daedalus, la simulation spectrale des données SPOT permet cependant une approximation jugée acceptable. Par la suite, les données simulées spectralement sont « rééchantillonnées » pour que le pixel brut de 12 mètres ait une résolution au sol de 20 mètres.

L'angle de visée instantanée du capteur « Haute Résolution Visible » (HRV) de SPOT sera de 4,13 degrés alors que le Daedalus possède un angle de balayage de 36 degrés de part et d'autre du nadir (visée verticale correspondant à la ligne centrale de l'image); ainsi, les effets dus aux variations d'angles de visée seront de moindre importance avec les données du satellite. De plus, les données acquises par un capteur aéroporté subissent des déformations géométriques lors de l'enregistrement en raison du tangage et du roulis de l'avion mais pour notre étude, aucune correction géométrique n'a été appliquée. De telles déformations seront nécessairement réduites pour des données provenant d'une plate-forme stable à bord d'un satellite.

Enfin, notre étude se limite à l'utilisation des canaux multibandes à 20 mètres alors que SPOT aura également un canal panchromatique à 10 mètres de résolution.

LE SYSTÈME DE CLASSIFICATION DE L'UTILISATION ET DE LA COUVERTURE DU SOL

Principes du système de classification

Un système de classification efficace devrait être hiérarchique, chaque niveau possédant un degré différent de précision. Un système de classification d'utilisation et

de couverture du sol basé sur des données de télédétection doit répondre à plusieurs critères (Anderson *et al*, 1976) dont les principaux sont :

- 1) L'interprétation de la zone doit posséder un niveau de précision de près de 90%. Le succès d'une classification repose sur un niveau de précision élevé.
- 2) L'identification des diverses classes doit montrer un niveau de précision similaire. Une classification est jugée efficace si les écarts d'exactitude entre les thèmes se révèlent faibles.
- 3) Les résultats doivent être faciles à interpréter et disponibles en tout temps. Tous les usagers ne possèdent pas une expérience en analyse numérique des images ; il est important de produire des documents clairs et précis.
- 4) Le système de classification doit utiliser des données de télédétection enregistrées à différentes périodes de l'année. La comparaison d'images de dates différentes fait apparaître les changements survenus dans l'affectation du sol.
- 5) Le regroupement des classes doit être effectué. On regroupe ensemble les éléments peu nombreux ou semblables.

L'utilisation des données de télédétection

Les méthodes de collecte d'information sont directement reliées au choix du système de classification. L'information numérique apportée par les données de télédétection résulte de la réflectance spectrale de l'espace perçu par le balayeur multibande (survol de simulation ou satellite). Par la suite, nous quantifions cette information à divers niveaux de généralisation. Il va donc falloir établir des relations entre les propriétés spectrales des éléments urbains et les classes d'utilisation et de couverture du sol.

Enfin, l'interprète déduit le type d'activité selon les caractéristiques spectrales de la couverture d'une parcelle urbaine.

Choix du système de classification

Le système de classification choisi est le résultat d'expériences faites sur Arles et l'axe Marseille-Aubagne (Chatelain *et al*, 1982). Ce système de classification comporte trois niveaux de précision. Le premier niveau comprend trois classes :

- 1) les surfaces à minéralisation dominante ;
- 2) les aires d'association végétation-bâti ;
- 3) les aires non bâties diverses.

Les variables telles que la nature et l'âge des matériaux, la densité et les ombres, influencent le second niveau de précision. La taille des objets et les éléments fins du réseau interviennent au troisième niveau de détail du système de classification.

Pour notre étude, nous avons divisé les classes du premier niveau en une dizaine de sous-classes, représentant chacune un thème particulier (tableau 5). Ainsi, les différents sites d'entraînement (couleur différente) que l'on retrouve sur la figure 2 identifient les dix types d'utilisation du sol urbain.

Tableau 5

Présentation des thèmes d'utilisation et de couverture du sol urbain

Thème	Couverture du sol	Utilisation du sol	
1	Association de maisons (toit, pelouse, jardin, rue) sous un lotissement quadrilatère	Zone résidentielle uni-familiale	(RESU)
2	Arrangement serré d'immeubles d'habitation (ciment et goudron) avec peu d'espace vert	Zone résidentielle multi-familiale	(RESM)
3	Répétition de bâtiments, entrepôts (béton, ciment, goudron) avec aire de stationnement, aire de rangement de matériaux et/ou de débris	Zone industrielle	(INDU)
4	Morphologie allongée et fortement asphaltée avec une forte densité d'édifices	Zone commerciale	(COMM)
5	Grande zone couverte d'herbe courte et/ou de pelouse	Espace vert	(ESPV)
6	Surface de terrain couverte d'arbres	Zone forestière	(FORE)
7	Surface de terrain couverte de culture	Zone agricole	(AGRI)
8	Étendue d'eau	Eau	(EAU)
9	Même couverture que le thème 1 auquel s'ajoute une plus importante végétation	Zone résidentielle uni-familiale avec forte végétation	(REUV)
10	Zone non cultivée couverte de broussaille	Friche urbaine	(FRIC)

PARTICULARITÉS DU MILIEU URBAIN

La planification des ressources urbaines

Le paysage urbain se distingue par une multitude de formes, de matériaux, de dimensions et de hauteurs. Le pixel se compose d'objets de nature différente et de petite taille. Ce phénomène n'est pas aussi évident dans les milieux agricoles et forestiers. Ces milieux se distinguent par de grandes surfaces homogènes couvrant souvent plusieurs pixels.

Les urbanistes et les spécialistes de l'aménagement désirent plus qu'une simple description physique et radiométrique des éléments urbains. Pour eux, l'espace

urbain se définit par son aspect fonctionnel ainsi que par sa dynamique. Les données devraient être à la fois descriptives, quantitatives, qualificatives et évolutives tout en supposant une localisation relativement précise (Lenco *et al*, 1982).

Les caractéristiques du milieu urbain

L'information provient d'ensembles identifiés selon leurs propriétés physiques et leur localisation géographique. Nous regroupons des ensembles ayant des réponses spectrales semblables plutôt que de classifier le milieu selon ses fonctions. L'interprétation de ces données exige une nouvelle approche pour la reconnaissance des phénomènes urbains. L'étude de Chatelain (1982) a permis d'identifier quatre groupes de variables qui influencent la signature spectrale des éléments :

- 1) la nature physique des objets urbains bâtis, des éléments du réseau et des espaces interstitiels (matériaux, asphalte, béton, herbe, arbres, eau) ;
- 2) l'âge de la mise en place et du degré de vieillissement (ancien ou nouveau bâtiment) ;
- 3) la fréquence de l'organisation des objets bâtis et des espaces interstitiels (l'aménagement du tissu urbain) ;
- 4) la fréquence de l'organisation des réseaux (trame du réseau routier).

La télédétection nous informe sur la nature physique des objets observés ; une reconnaissance des fonctions urbaines se fera par déduction. Nous devons ainsi établir des relations entre la nature physique et fonctionnelle des ensembles urbains.

Problèmes d'interprétation

L'analyse du milieu urbain par les premiers satellites n'a permis que la détection de classes générales. Il a été impossible de subdiviser celles-ci en sous-classes.

Parmi les problèmes rencontrés avec l'utilisation des données satellites, nous notons la complexité du paysage urbain caractérisé par une affectation du sol variée. Cette disparité du paysage entraîne une confusion d'éléments à l'intérieur d'un pixel et entre les pixels (Forster, 1982). De plus, cette diversité d'éléments limite l'exactitude des classifications. Habituellement, la zone d'étude comprend un certain nombre de classes composées d'éléments homogènes.

À titre d'exemple, un pixel résidentiel LANDSAT peut facilement comprendre un certain pourcentage de couverture de toit (28%), de rue (14%), de béton (5%), d'arbres (16%), d'herbe (36%), d'eau et de sol nu (1%) (Forster, 1982). La valeur de radiance enregistrée pour ce pixel correspond en fait à une réponse incluant différentes couvertures du sol.

La résolution spatiale des nouveaux satellites se compare facilement avec la dimension moyenne des phénomènes urbains (Welch, 1982). Cette nouvelle résolution atténuera la confusion des éléments à l'intérieur d'un pixel et entre les pixels. Elle devrait augmenter la précision des classifications car nous produisons celles-ci à l'aide des signatures spectrales des éléments au sol. Nous définissons une signature

spectrale comme étant un ensemble de valeurs caractérisé par une fonction de distribution ; les distributions sont généralement gaussiennes et on définit ainsi une signature par sa moyenne et son écart-type.

MÉTHODOLOGIE

Choix des bandes spectrales

Nous avons utilisé deux combinaisons de canaux pour réaliser les classifications supervisées. La première se compose des canaux 1, 2, 3 de la simulation aéroportée et la deuxième du rapport de bande SPOT3/SPOT2 joint à la première combinaison. Le rapport de bande accentue les contrastes entre les milieux où prédominent les végétaux et les milieux fortement minéralisés (Oliva et Husson, 1982).

Test de corrélation entre les éléments

Avant de produire une classification dite supervisée, il est possible d'analyser la similarité entre les classes en évaluant le degré de corrélation de leurs signatures spectrales ; nous déterminons une distance relative de séparabilité entre celles-ci. Cette distance statistique est basée sur des lois probabilistes, et plus la distance entre deux classes est importante, plus celles-ci se différencient ; c'est-à-dire que chaque classe contient des éléments distincts (L'Association québécoise de télédétection, 1982).

Les classifications supervisées

Des classifications supervisées ont été produites dans le but de distinguer les diverses unités d'utilisation et de couverture du sol urbain ; nous avons déterminé dix affectations du sol urbain. Ensuite, nous avons produit une sous-image conservant uniquement la surface urbanisée. Les zones éliminées étaient principalement agricoles et forestières. De nouvelles classifications à huit thèmes ont été produites à partir des deux combinaisons de canaux SPOT.

Les classifications supervisées obtenues se basent sur l'algorithme de maximum de vraisemblance selon des calculs de probabilité. L'algorithme calcule la probabilité qu'un pixel soit affecté à une classe donnée et répète cette opération pour toutes les classes. La règle de décision désigne le pixel dans la classe où la probabilité est la plus grande, si celle-ci est supérieure à un seuil pré-établi de 95% (L'Association québécoise de télédétection, 1982).

Un filtre « post-classification » a été appliqué pour améliorer les résultats en effectuant une homogénéisation des thèmes après la classification. Le filtre utilisé remplace les thèmes occupant de petits espaces et les aires non définies par les thèmes avoisinants dont la fréquence spatiale dépasse un seuil fixé. Il compare la classe *i* affectée au pixel central d'une fenêtre de 2 pixels de côté à la fréquence d'occurrence des autres classes apparaissant dans cette fenêtre. Aucun changement ne surviendra si la fréquence d'occurrence de la classe *i* est supérieure à un seuil pré-établi de 2 (L'Association québécoise de télédétection, 1982). Sinon, le pixel sera réaffecté à la classe où la fréquence est la plus importante dans la même fenêtre.

Les matrices de confusion

Nous pouvons déterminer le degré d'exactitude des différents éléments en produisant des matrices de confusion. La matrice vérifie la validité des classifications en nous renseignant sur la précision de ses thèmes. On compare horizontalement les thèmes de la classification (classes assignées) aux sites d'entraînement (classes réelles) situés à la verticale.

On obtient, en diagonale, le nombre de pixels correctement classifiés par rapport aux sites d'entraînement. La matrice nous informe sur le nombre de pixels non classifiés et sur le nombre de pixels incorrectement définis pour chacune des classes en relation avec leur site d'entraînement.

ANALYSE DES CLASSIFICATIONS

Notre but ici est de :

- 1) déterminer la combinaison de canaux qui discrimine le plus fidèlement les composantes du milieu urbain ;
- 2) comparer les classifications à huit et dix thèmes ;
- 3) comparer les superficies de chacune des classes calculées à partir d'une classification supervisée et d'une carte d'utilisation du sol au 1 : 5 000 datant de 1980.

Distance de séparabilité des classes

L'interprétation des classifications exige un examen détaillé des résultats afin de déterminer si celles-ci correspondent à la réalité du terrain. Avant d'analyser la précision des classifications, nous allons examiner les tableaux correspondant aux distances de séparabilité des classes. Cette distance est calculée à partir des signatures spectrales des éléments au sol.

La matrice des signatures spectrales produite avec les canaux simulés SPOT 1, 2, 3 et 3/2 possède des distances plus élevées que les signatures produites à partir des canaux 1, 2, 3 de la simulation (tableau 6). La distance des thèmes provenant des canaux 1, 2, 3 et 3/2 de SPOT varie de 0,185 à 208,477. La partie inférieure du tableau montre les distances de séparabilité des classes créées avec les canaux 1, 2, 3. Les distances oscillent entre 0,087 et 90,185.

Certaines classes affichent une faible distance de séparabilité signifiant que des utilisations différentes peuvent posséder des signatures spectrales semblables d'où la difficulté de bien discriminer ces phénomènes.

Classifications à dix thèmes

Les deux classifications à dix thèmes se ressemblent beaucoup ; l'ensemble de la zone est classée à 87,12% et 83,65% respectivement (tableau 7). Seul le résidentiel unifamilial avec forte végétation possède un pourcentage de pixels définis non

Tableau 6
Distance de séparabilité entre les thèmes réalisés avec les canaux 1,2,3 et 1,2,3,3/2 de SPOT

	RESU	RESM	INDU	COMM	SPOT 1,2,3,3/2 ESPV	FORE	AGRI	EAU	REUV	FRIC
RESU	—	1,179	1,624	4,041	8,825	12,829	42,774	22,174	1,061	7,058
RESM	0,823	—	0,185	1,314	10,438	22,749	77,305	17,957	2,350	9,330
INDU	0,961	0,087	—	1,086	11,414	29,115	91,259	11,160	2,510	10,850
COMM	3,134	0,804	0,745	—	46,306	42,718	208,477	10,049	4,015	27,970
ESPV	6,829	6,179	6,334	23,428	—	5,798	32,374	68,160	4,258	1,997
FORE	6,334	7,254	7,655	16,496	4,896	—	4,028	40,129	2,996	2,435
AGRI	17,348	14,438	15,144	49,335	18,387	3,552	—	125,378	7,446	16,169
EAU	17,654	11,699	8,774	8,202	39,991	20,025	90,106	—	9,828	76,967
REUV	0,614	1,646	1,641	2,762	2,688	2,220	6,316	7,208	—	3,962
FRIC	5,807	5,718	6,230	24,827	1,684	2,020	9,226	73,519	2,115	—

Tableau 7

Sommaire des classifications à dix thèmes réalisées avec les canaux 1,2,3 et 1,2,3,3/2 de SPOT

Thèmes	SPOT 1,2,3				SPOT 1,2,3,3/2			
	nb pix (sans filtre)	% ima	nb pix (avec filtre)	% ima	nb pix (sans filtre)	% ima	nb pix (avec filtre)	% ima
1. RESU	27 097	8,53	27 227	8,6	36 176	11,39	40 903	12,9
2. RESM	21 427	6,75	23 587	7,4	24 618	7,75	29 431	9,3
3. INDU	13 607	4,29	16 248	5,1	12 379	3,9	15 437	4,9
4. COMM	19 139	6,03	22 501	7,1	20 977	6,61	24 843	7,8
5. ESPV	17 604	5,54	18 635	5,9	19 046	6,0	21 240	6,7
6. FORE	46 745	14,72	51 622	16,3	42 581	13,41	48 643	15,3
7. AGRI	3 902	1,23	4 618	1,5	4 314	1,36	5 257	1,7
8. EAU	5 099	1,61	6 059	1,9	4 247	1,34	5 636	1,8
9. REUV	85 873	27,04	101 455	32,0	64 533	20,32	74 508	23,5
10. FRIC	36 136	11,38	42 525	13,4	36 730	11,57	48 030	15,1
non classé	40 891	12,88	3 043	1,0	51 919	16,35	3 592	1,1

représentatif du terrain; soit 27,04% produit avec SPOT 1, 2, 3 et 20,32% créé avec SPOT 1, 2, 3 et 3/2.

Le thème identifie assez précisément le secteur résidentiel situé au nord de la ville, mais en plus nous constatons qu'une partie des zones forestières se retrouvent également associée à cette unité d'utilisation du sol. Nous nous attendions à rencontrer des problèmes d'identification car cette classe regroupe des pixels de nature différente soit du résidentiel unifamilial et du forestier.

Les pixels non définis se situent approximativement aux mêmes endroits pour les deux classifications. Ils représentent principalement des espaces de sol nu, des zones en culture ayant une faible croissance et des gravières. Les espaces de sol nu se localisent au sud-est (site de la Ferme expérimentale de Lennoxville). Les secteurs de gravières se situant au nord-est de la ville (figure 2).

L'emploi du filtre « post-classification » a pratiquement éliminé les pixels non classifiés (tableau 7). Ces pixels se sont regroupés avec les thèmes avoisinants ceux-ci. Toutefois, nous remarquons que le filtre augmente l'importance du résidentiel unifamilial avec forte végétation. Une partie des pixels non déterminés s'est jointe à cette unité d'utilisation du sol.

La matrice de confusion compare les classes assignées aux classes réelles. La précision de la classification utilisant les canaux 1, 2, 3 passe de 82% à 89,7% après le filtrage des thèmes (tableaux 8a et 8b). Les résultats pour la combinaison de 1, 2, 3 et 3/2 sont de 81,7% sans filtre et de 87,8% après la généralisation (tableaux 9a et 9b).

Trois thèmes de la classification produite avec les canaux 1, 2, 3 de SPOT détiennent un niveau de précision inférieur à 60% sans la généralisation. Le résidentiel multifamilial n'est précis qu'à 44%. Le même phénomène se produit avec l'industriel, il est précis à 39% seulement et le résidentiel unifamilial avec forte végétation est précis à 58%. Cette précision se base sur les statistiques obtenues à partir des sites d'entraînement.

Tableau 8a

Matrice de confusion de la classification à dix thèmes réalisée avec les canaux 1,2,3 de SPOT

	RESU	RESM	INDU	COMM	ESPV	FORE	AGRI	EAU	REUV	FRIC	non classé	% bien classé
RESU	48	7	1	1	1	0	0	0	16	0	3	62
RESM	11	40	11	22	0	0	0	0	4	0	1	44
INDU	6	28	34	11	0	0	0	0	3	0	4	39
COMM	6	14	8	137	0	0	0	0	1	0	4	80
ESPV	0	0	0	0	148	4	0	0	6	7	0	89
FORE	0	0	0	0	2	336	8	0	7	8	11	90
AGRI	0	0	0	0	0	7	259	0	0	0	1	97
EAU	0	0	0	0	0	0	0	321	0	0	14	95
REUV	8	6	1	1	1	9	0	0	41	1	2	58
FRIC	0	0	0	0	4	3	0	0	1	39	2	79
												% total 82,0

Tableau 8b

Matrice de confusion de la classification à dix thèmes filtrée réalisée avec les canaux 1,2,3 de SPOT

	RESU	RESM	INDU	COMM	ESPV	FORE	AGRI	EAU	REUV	FRIC	non classé	% bien classé
RESU	58	5	0	0	0	0	0	0	14	0	0	75
RESM	10	46	6	25	0	0	0	0	2	0	0	51
INDU	6	26	40	13	0	0	0	0	1	0	0	46
COMM	6	12	4	147	0	0	0	0	1	0	0	86
ESPV	0	0	0	0	159	0	0	0	4	2	0	96
FORE	0	0	0	0	2	364	3	0	1	2	0	97
AGRI	0	0	0	0	0	6	291	0	0	0	0	97
EAU	0	0	0	0	0	0	0	335	0	0	0	100
REUV	7	4	0	0	0	9	0	0	50	0	0	71
FRIC	0	0	0	0	3	2	0	0	0	44	0	89
												% total 89,7

Les résultats de la même classification mais filtrée, augmentent la précision à plus de 70% pour huit thèmes (tableau 8b). Seul, le résidentiel multifamilial et l'industriel demeurent inférieurs à 55%.

Pour la classification produite avec les canaux 1, 2, 3 et 3/2 sans filtrage, la précision du résidentiel multifamilial, de l'industriel et du résidentiel avec forte végétation est insuffisante. Elle est respectivement de 41 %, 29 % et 40 %. Les résultats filtrés accroissent à plus de 70 % la précision de sept thèmes (tableaux 9a et 9b).

Tableau 9a

Matrice de confusion de la classification à dix thèmes réalisée avec les canaux 1,2,3,3/2 de SPOT

	RESU	RESM	INDU	COMM	ESPV	FORE	AGRI	EAU	REUV	FRIC	non classé	% bien classé
RESU	58	5	1	2	1	0	0	0	8	0	2	75
RESM	15	37	8	28	0	0	0	0	0	0	1	41
INDU	7	32	25	15	0	0	0	0	1	0	6	29
COMM	5	6	8	145	0	0	0	0	0	0	6	85
ESPV	0	0	0	0	144	3	0	0	6	10	2	87
FORE	0	0	0	0	5	317	9	0	12	13	16	85
AGRI	0	0	0	0	0	8	286	0	0	0	3	96
EAU	0	0	0	0	0	0	0	318	0	0	17	94
REUV	21	5	0	1	1	11	0	0	28	1	2	40
FRIC	0	0	0	0	3	4	0	0	0	40	2	81
												% total 81,7

Tableau 9b

Matrice de confusion de la classification à dix thèmes filtrée réalisée avec les canaux 1,2,3,3/2 de SPOT

	RESU	RESM	INDU	COMM	ESPV	FORE	AGRI	EAU	REUV	FRIC	non classé	% bien classé
REUV	69	2	0	0	0	0	0	0	6	0	0	89
RESM	16	41	4	28	0	0	0	0	0	0	0	46
INDU	9	32	27	18	0	0	0	0	0	0	0	31
COMM	5	6	3	156	0	0	0	0	0	0	0	91
ESPV	0	0	0	0	155	2	0	0	2	6	0	93
FORE	0	0	0	0	2	350	6	0	7	7	0	94
AGRI	0	0	0	0	0	7	290	0	0	0	0	97
EAU	0	0	0	0	0	0	0	335	0	0	0	100
REUV	21	3	0	0	0	12	0	0	34	0	0	48
FRIC	0	0	0	0	1	3	0	0	0	45	0	91
												% total 87,8

Classification à huit thèmes et comparaison

La création d'une sous-image permet d'enlever certaines zones adjacentes à la ville où les surfaces sont majoritairement forestières et agricoles.

La classification à huit thèmes produite avec les canaux 1, 2, 3 de la simulation SPOT possède 96,14% pixels classifiés tandis que la classification à huit thèmes réalisée avec les canaux 1, 2, 3 et 3/2 présente 94,97% pixels définis. L'élimination des zones environnantes au secteur urbanisé explique l'accroissement du pourcentage

d'éléments classés car la presque totalité des pixels indéterminés des classifications à dix thèmes se localisent à l'intérieur de ces zones.

En comparant les classes assignées aux classes réelles, les classifications comptant dix thèmes possèdent une précision supérieure aux classifications à huit thèmes. Près de 6% séparent les différents résultats. Cet écart est attribuable au fait que les classes éliminées étaient des classes très bien identifiées (forestière et agricole, tableaux 8 et 9). La précision de la classification produite avec les bandes 1, 2, 3 est de 82% et de 89,7% après le filtrage. La classification à huit thèmes avec les mêmes canaux a une précision plus faible; soit de 77% et de 84% avec le filtre « post-classification ». La précision passe de 81,7% à 87,8% après la généralisation pour la classification à dix thèmes réalisée avec les canaux 1, 2, 3 et 3/2. La même classification avec huit thèmes possède 75,9% de précision sans filtrage et 83% avec l'usage du filtre.

De plus, les classifications faites à partir des canaux 1, 2, 3 à huit et dix thèmes, montrent une précision globale supérieure aux classifications utilisant les canaux 1, 2, 3 et 3/2 de la simulation. La classification à dix thèmes générée à partir des canaux simulés 1, 2, 3 de SPOT décrit le plus fidèlement la réalité par rapport aux sites d'entraînement. Elle atteint 82% de précision et augmente à 89,7% après le filtrage (figure 3).

Les classifications à huit thèmes présentent un pourcentage de précision moins élevé. Les thèmes exclus par le masque — le forestier et l'agricole — étaient précis à 90%. La faible performance des classifications à huit thèmes s'explique par l'abandon de ces deux thèmes.

L'utilisation du rapport de bande SPOT3/SPOT2 n'a pas amélioré le pourcentage de pixels classifiés ainsi que le pourcentage global de précision des classifications. Nous constatons que ce « néo-canal » a augmenté la précision du résidentiel unifamilial, le commercial et la friche urbaine. La précision du résidentiel unifamilial passe de 62% à 75%, celle du commercial varie de 80% à 85% et la précision de la friche urbaine s'améliore de 2% (tableaux 8a et 9a). Même si le rapport de bande n'a pas accru le pourcentage global des classifications, sa contribution demeure appréciable pour la discrimination de ces trois thèmes.

Le rapport de bande diminue la précision de l'industriel et du résidentiel unifamilial avec forte végétation; les signatures spectrales de ces classes pour la bande 3/2 affichaient trop de recouvrement avec les signatures des autres bandes.

Comparaison des superficies

La comparaison des superficies obtenues par la classification supervisée à celles d'une carte d'utilisation du sol nous permet d'estimer la fiabilité des traitements effectués; toutefois l'absence de correction géométrique sur les données peut occasionner des erreurs dans le calcul des superficies obtenues par la classification.

Les données de terrain datent de 1980 et portent sur la ville de Sherbrooke (carte au 1: 5000, Dubois et Provencher, 1983). Nous y avons regroupé certains éléments afin de les rendre conformes aux thèmes précédemment définis. Le commercial regroupe en outre les services publics, les stationnements, les télécommunications, l'éducation, le religieux, le transport d'énergie et routier. L'industriel englobe le

transport ferroviaire et la friche urbaine regroupe les espaces urbains et para-urbains, les parcs industriels (espace non bâti) et les dépotoirs. Enfin, nous avons créé un *thème mixte* comprenant les éléments suivants: résidentiel unifamilial, résidentiel multifamilial et commercial. Le voisinage de ces trois unités dans certains secteurs de la ville rendait impossible la différenciation de celles-ci. Le calcul des superficies provenant de la carte d'utilisation du sol fut effectué avec une grille de points précise à 97 %. La comparaison effectuée a été restreinte aux surfaces couvertes par la carte, soit les limites de la ville de Sherbrooke.

Le tableau 10 résume les superficies déduites de la classification automatique et de la carte d'utilisation du sol. Nous constatons en examinant ce tableau une faible différence de 43 hectares entre la superficie totale de la classification (4 933 ha) et de la carte (4 890 ha).

Tableau 10

Comparaison des superficies calculées à partir de la classification supervisée réalisée avec les canaux 1, 2, 3 de SPOT et d'une carte d'utilisation du sol au 1:5 000 de la ville de Sherbrooke (hectare)

Thème	Classification supervisée en %		Carte d'utilisation du sol*1 en %	
1. RESU.....	574	11,6	648	13,2
2. RESM.....	472	9,5	25	0,5
3. INDU.....	231	4,6	192	3,9
4. COMM.....	659	13,3	510	10,4
5. ESPV.....	272	5,5	254	5,1
6. FORE.....	572	11,5	701	14,3
7. AGRI.....	19	0,3	159	3,2
8. EAU.....	130	2,6	170	3,4
9. REUV.....	1 546	31,3	—	—
10. FRIC.....	458	9,2	1 423	29,1
11. MIXTE.....	—	—	808	16,5
Total	4 933	100,0	Total 4 890	100,0

* 1 (Dubois et Provencher, 1983).

La concordance pour six thèmes de la classification est excellente; il s'agit du résidentiel unifamilial, de l'industriel, du commercial, des espaces verts, du forestier et de l'eau. Toutes ces unités possèdent des superficies qui se rapprochent des données de terrain; la différence entre les superficies provenant de la classification et de la carte pour ces thèmes est respectivement de 0,6 %, 0,7 %, 2,9 %, 0,4 %, 2,8 % et 0,8 %. Par contre, le résidentiel multifamilial est surestimé; il représente 9,5 % de la classification alors qu'il n'affiche que 0,5 % par rapport à la carte. La réponse spectrale de cet élément se confond avec celle du résidentiel unifamilial et de l'industriel. La superficie de l'agricole est inférieure à celle de la carte (0,3 % pour la classification et 3,2 % pour la carte). La croissance végétale est faible au début juin alors que la carte nous informe sur les fermes cultivées en général. La présence de pixels mixtes (résidentiel unifamilial et forte végétation) a surévalué le résidentiel unifamilial avec une forte

végétation. Nous retrouvons souvent ce thème dans les zones non urbanisées tandis que la friche urbaine localisée en majeure partie en périphérie de la ville, est sous-estimée par la classification. Malheureusement, nous ne possédons pas de données de terrain pour le résidentiel unifamilial avec une forte végétation.

En résumé, la comparaison des superficies nous a permis de constater que la classification supervisée procure des résultats satisfaisants par rapport à la carte d'utilisation du sol. L'avantage d'utiliser une classification à partir des données obtenues par télédétection vient de ce que cette méthode procure une économie appréciable de temps pour la confection de cartes d'utilisation du sol.

CONCLUSION

La télédétection du paysage urbain par satellite est jusqu'à présent, peu connue et peu développée comparativement aux études agricoles, forestières et hydrologiques. La venue d'une nouvelle génération de satellites (SPOT et LANDSAT-5) permettra d'analyser le milieu urbain selon ses diverses unités d'utilisation et de couverture du sol. Ces nouveaux satellites, caractérisés par une meilleure résolution spatiale, seront mieux adaptés à la nature morcelée et diversifiée du paysage urbain.

Les bandes 1, 2, 3 de SPOT donnent les meilleurs résultats avec une classification à dix thèmes pour une précision globale de 82% non filtrée et 89,7% après la généralisation par rapport aux sites d'entraînement.

Pour l'ensemble des classifications, le résidentiel multifamilial et l'industriel demeurent confus; il nous a été impossible de les discriminer correctement et leur précision est insuffisante. À certains endroits la classification a identifié une zone comme étant commerciale alors qu'en réalité celle-ci est industrielle.

Cette recherche, bien que basée sur des simulations nécessairement moins précises que les résultats escomptés grâce au satellite, nous permet toutefois de constater que les images SPOT auront un potentiel certain pour l'observation de l'utilisation du sol en milieu urbain.

Le satellite SPOT avec une résolution spatiale de 20 mètres en mode multibande permet une classification plus détaillée que les satellites de la série LANDSAT. Cependant, la difficulté réside dans le fait que le milieu urbain est un environnement complexe qui présente une utilisation et une couverture du sol variées par rapport aux zones agricoles et forestières — par exemple, la présence de pixels mixtes (objets de nature différente) caractérise l'environnement urbain. L'utilisation du sol d'une parcelle urbaine est déduite de la signature spectrale de sa couverture. Cette signature spectrale représente non pas un phénomène unique mais un ensemble d'éléments hétéroclites et deux couvertures du sol différentes peuvent parfois avoir la même réponse spectrale.

Cet article est basé exclusivement sur l'analyse spectrale. Cependant, celle-ci ne suffit pas toujours pour une identification précise des phénomènes urbains. L'analyse de texture à partir du canal panchromatique de SPOT — 10 mètres de résolution — devrait apporter une information complémentaire, en faisant intervenir entre autres la dimension et l'hétérogénéité des unités comme critères de classification supplémentaires. C'est d'ailleurs dans cette direction que seront orientées nos recherches futures.

NOTES

¹ Nous tenons à remercier le Conseil de recherches en sciences naturelles et génie (C.R.S.N.G., projet A 5252) pour l'aide financière apportée. Nous ne pouvons passer sous silence le travail continu de Ferdinand Bonn qui, par son dynamisme, a grandement contribué à l'essor du Laboratoire de télédétection. Nous voulons également souligner l'aide scientifique et le support technique fournis par le Laboratoire de télédétection de l'Université de Sherbrooke et le Centre canadien de télédétection. Enfin, nous remercions J.M.M. Dubois et Alain Royer pour la lecture critique du manuscrit.

² Dans ce travail, l'utilisation du sol renvoie plus précisément au type d'activité et la couverture du sol distingue les éléments naturels et artificiels présents à la surface de la zone. La couverture inclut, entre autres, la végétation et les constructions sur cette surface, par conséquent le type d'utilisation du sol est relié au type de couverture que nous retrouvons sur une parcelle urbaine.

SOURCES CITÉES

- AHERN, F.J. (1982) *Spectral band weights for SPOT and MSS simulation*. Ottawa, Memorandum for Canada Center for Remote Sensing, 4 p.
- ANDERSON, J.R. et al (1976) *Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data*. U.S. Geological Survey Professional Paper, n° 964, 28 p.
- L'ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DE TÉLÉDÉTECTION (1982) *Le traitement numérique des images de télédétection; note de cours*, Québec, Université Laval, 233 p.
- BALLUT, A. (1982) Les problèmes posés par le milieu urbain en télédétection. Paris, C.N.R.S., *Journées de télédétection en milieu urbain*, p. 7-17.
- BROWN, R.J., BERNIER, M. et FEDOSEJEVS, G. (1982) Geometrical and atmospheric considerations of NOAA AVHRR imagery. West Lafayette, *Machine processing of remotely sensed data symposium*, West Lafayette, p. 374-381.
- CANADA, Statistique Canada (1981) *Certaines caractéristiques, population, logements privés occupés, ménages privés, familles de recensement dans les ménages privés*, catalogue 95-932 (volume 3 — série des profils A) 29 p.
- CARIGNAN, M., VINCENT, P., DUPONT, O., CHARBONNEAU, L. et BONN, F. (1983) *La réponse spectrale de diverses unités d'utilisation du sol en milieu agricole et périurbain dans les fenêtres spectrales 1,55-1,75 et 2,08-2,35 microns*. Bordeaux, Colloque international sur les signatures spectrales d'objets en télédétection, 11 p.
- CHATELAIN, A. et GRENOFF, J.D. (1982) Analyse de morphologie urbaine, bilan des expériences : Arles et la vallée de l'Huveaune. *Journées de télédétection en milieu urbain*, Paris, C.N.R.S., p. 65-72.
- DUBOIS, J.M.M. et PROVENCHER, L. (1983) *Sherbrooke, carte d'utilisation du sol 1976-1980, 1 : 5 000*. Sherbrooke, Institut d'aménagement, Université de Sherbrooke.
- FORSTER, B. (1982) Overcoming urban monitoring problems with the new generation satellite sensors. *Actes du Symposium international de la commission VII de la Société internationale de photogrammétrie et télédétection*, Toulouse, p. 889-896.
- LENCO, M., BALLUT, A. et DELAVIGNE, R. (1982) Utilisation d'images satellites pour décrire l'état et le suivi de l'occupation du sol en Île-de-France. *Journées de télédétection en milieu urbain*, Paris, C.N.R.S., p. 73-83.
- LILLESAND, T.M. et KIEFER, R.W. (1979) *Remote sensing and image interpretation*. Wiley and Sons, 612 p.
- OLIVA, P. et HUSSON, A. (1982) Classification supervisée des ensembles urbains et péri-urbains de la région d'Aix-en-Provence : Aspects méthodologiques, Paris, C.N.R.S., *Journées de télédétection en milieu urbain*, p. 28-46.
- PAUL, S., ALOUGES, A., BONNEVAL, H. et PONTIER, L. (1982) *Dictionnaire de télédétection aérospatiale, Airborne and spaceborne remote sensing dictionary*. Paris, Éditions Masson, 236 p.
- SIMARD, R. (1981) *Résultats de simulations d'images stéréoscopiques HRV SPOT sur le site de Gun Lake C.B.* Winnipeg, 7th Canadian symposium on remote sensing, 11 p.
- WELCH, R. (1982) Spatial resolution requirement for urban studies. *International Journal of Remote Sensing*, 3(2) : 139-146.
- ZWICK, H.H., MCCOLL, W.D. et EDEL, H.R. (1980) *The CCRS DS 1260 Airborne multispectral scanner (MSS)*. Halifax, 6th Canadian Symposium on remote sensing, p. 643-648.