IDENTIFICATION DES PISCINES À L'AIDE D'UNE IMAGE IKONOS : CAS DE LA VILLE DE SHERBROOKE (QUÉBEC)

Aziza BERRADA[1], Dong-Chen HE[2] et Denis MORIN[3]

[1] N417, lotissement Afak, boulevard Fès, Californie, Casablanca, Maroc.
Téléphone : +212 22 87 11 98 ; télécopieur : +212 22 44 78 31 ; courriel : Berradaaziza@hotmail.com
[2] Département de géomatique appliquée, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2 R1
Téléphone : 819-821-8000 poste 62299 ; télécopieur : 819- 821-7944 ; courriel : Dong-Chen.He@USherbrooke.ca
[3] Département de géomatique appliquée, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1
Téléphone : 819-821-8000 poste 62194 ; télécopieur : 819- 821-7944 ; courriel : Denis.Morin@USherbrooke.ca

Soumis le 10 novembre 2006 ; révisé le 22 janvier 2007 ; accepté le 29 août 2007- © *Revue Télédétection*, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 239-249

Résumé

L'apparition des images satellitaires à haute résolution spatiale (HRS) constitue un atout majeur de la télédétection urbaine. Or, leur utilisation dans un milieu urbain demeure limitée. Dans la Ville de Sherbrooke, un besoin en cartographie des piscines se fait grandement sentir car il existe des piscines sans permis de construction et ce, avec des changements constants. L'objectif de la présente étude est d'identifier les piscines existantes par le biais du domaine spectral d'une image IKONOS prise le 20 mai 2001 et d'un système d'information géographique. Cette méthode a permis l'identification correcte de 93 % des piscines sur la zone de vérification. En incluant l'erreur de commission commise par le classifieur, la qualité de la classification atteint 85 %. Ces résultats ont été validés à l'aide de photographies aériennes de la Ville de Sherbrooke prises en 2002 et des permis de piscines fournis par la municipalité.

Mots-clés : haute résolution spatiale, IKONOS, milieu urbain, proche infrarouge, Sherbrooke, Québec

Pool identification using an IKONOS image: case of the city of Sherbrooke (Québec)

Abstract

The availability of high spatial resolution satellite images constitutes a major asset in the urban remote sensing field. However, their use in an urban environment is still very limited. In the City of Sherbrooke, there is a growing need for pool mapping because there are a number of pools that do not have construction permits and changes are occurring constantly. The objective of the present paper is to identify existing pools using the spectral domain of an IKONOS image acquired on May 20, 2001 as well as a geographical information system. The method allowed the identification of 93 % of pools located in the verification zone. Including the error of commission, we obtained 85% of classification accuracy. These results were validated using both an aerial photograph acquired in 2002 and pool construction permits provided by the municipality.

Keywords : high spatial resolution, IKONOS, urban areas, near infrared, Sherbrooke, Québec

1. INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, le milieu urbain suscite l'intérêt de plusieurs chercheurs et fait donc l'objet de nombreuses études. Toutefois, l'hétérogénéité et les changements rapides des espaces urbains rendent leur étude avec les méthodes traditionnelles telles que les statistiques, les campagnes de terrain et l'échantillonnage, très complexes. Grâce à l'apparition des images à résolutions spatiale et spectrale plus fines, les résultats obtenus sur ce milieu se sont avérés fort satisfaisants. Plusieurs chercheurs (Aplin *et al*., 1999 ; Ben-dor *et al*., 2001 et Puissant and Weber, 2002) démontrent que l'environnement urbain peut être classifié avec succès à l'aide d'images à haute résolution spatiale. Or, la majorité des études utilisant la télédétection spatiale reste limitée et s'est orientée principalement vers la détection des voiries urbaines (Hemiari *et al*., 2004 ; Tonyé *et al*., 2000 ; Karathanassi, 1999 ; Hinz and Baumgartner, 2000, etc.) et des bâtiments (Brenner and Haala, 1999 ; Lhomme *et al*., 2003 ; Kemmouche et Mering, 2000, etc.).

Dans la présente étude, nous nous sommes penchés sur l'extraction des piscines de la Ville de Sherbrooke, au Québec, en vue d'exploiter la finesse des produits de télédétection en milieu urbain. À des fins de gestion, les politiques municipales exigent l'obtention d'une autorisation pour toute construction sur son territoire. La ville se dote aussi d'un moyen lui permettant, entre autres, le recensement de ses infrastructures, des catégories de bâtiments (immeubles, maisons, hangars, etc.) et tout autre édifice et composantes urbaines. D'après Roy (2005), la mise en place des piscines exige un permis délivré par la municipalité. Toutefois, certains propriétaires installent des piscines sur leurs propriétés sans avoir un permis de construction et ne sont donc pas enregistrées au niveau de la municipalité. La municipalité perd donc des revenus de taxes qu'elle impose avec les permis de piscines, d'où le besoin en cartographie des piscines.

À notre connaissance, une seule étude s'est penchée sur l'extraction des piscines en vue d'exploiter la finesse des produits de télédétection en milieu urbain (Barrette, 2003). Spectralement, sur une image IKONOS, les piscines ont un comportement différent des autres classes d'occupation des terres (forêt, pelouse, bâtiments, routes, etc.). Cette différence est aussi remarquée entre les piscines et l'eau. Notre travail vise à développer une méthode rapide et efficace d'extraction des piscines qui permettra leur identification par le seul biais du domaine spectral, le visible et le proche infrarouge (PIR) d'une image IKONOS et d'un système d'information géographique (SIG).

2. SITE D'ÉTUDE

La zone d'étude se situe dans la Ville de Sherbrooke, au Québec. Cette zone s'étend sur une superficie de 366 km^2 et est située à 147 km de la ville de Montréal et à 240 km de la Ville de Québec (figure 1a). La Ville de Sherbrooke est subdivisée en six arrondissements et comptait 138 725 habitants en 2001. Nous avons choisi pour notre étude une partie de la ville de Sherbrooke qui s'étend sur un territoire de 66 km^2 et pour laquelle nous avons les données concernant les permis de construction de piscines.

3. MÉTHODOLOGIE

Dans cette section, nous présentons la méthodologie utilisée pour effectuer la présente étude, incluant les données et les méthodes pour la validation des résultats.

3.1. Présentation de l'image IKONOS

L'image IKONOS de la ville de Sherbrooke utilisée a été prise le 20 mai 2001 à 10 h 50, heure locale. Une zone de 11 000 pixels x 6 000 pixels a été soustraite pour la présente étude. Le choix de cette image est basé sur sa disponibilité, la finesse de la résolution spatiale et la bonne qualité visuelle d'image qu'elle offre. En urbanisme, une plus grande importance est donnée à la résolution spatiale qu'à la richesse spectrale de l'image (Armand, 1995). De ce fait, les images multispectrales IKONOS ont été d'abord fusionnées avec la bande panchromatique.

3.2. Création du masque

Afin d'éliminer certaines classes thématiques pouvant engendrer des erreurs au cours des traitements utilisés, nous avons masqué un grand nombre de classes thématiques « non piscines », incluant les eaux des rivières. Dans la littérature, il existe plusieurs types de masquages, dont le masquage radiométrique utilisé dans cette étude (Girard et Girard, 1999). Il supprime par seuillage certains pixels ayant une valeur radiométrique supérieure ou inférieure à une référence donnée, c'est le seuil. Afin de ne pas supprimer certains pixels correspondant à la classe des piscines, nous avons étudié la séparabilité entre les comptes numériques supprimés et l'objet en question.

Le masque est créé à partir de la bande du PIR (bande 4) dans laquelle les eaux ont généralement un comportement spectral bien distinct de toutes les autres classes urbaines. Dépendamment du degré de pureté de l'eau, sa réflectance dans le PIR peut atteindre la valeur 0. Le seuil du masque utilisé correspond à la valeur radiométrique maximale des échantillons des piscines de la ville de Sherbrooke. Son choix a été effectué de manière généreuse plutôt que restrictive afin de ne pas éliminer les pixels potentiels. L'image résultante est une image binaire avec deux niveaux de gris : blanc et noir.

3.3. Classification multibande

D'après les données fournies par la Ville de Sherbrooke (Turgeon, 2004), nous avons subdivisé l'image IKONOS en 63 unités de voisinage. À l'aide du logiciel de traitement d'images ENVI (Research Systems Inc., 2004) et en appliquant le masque créé, on réalise ainsi une classification spectrale « par pixel » dans le visible.

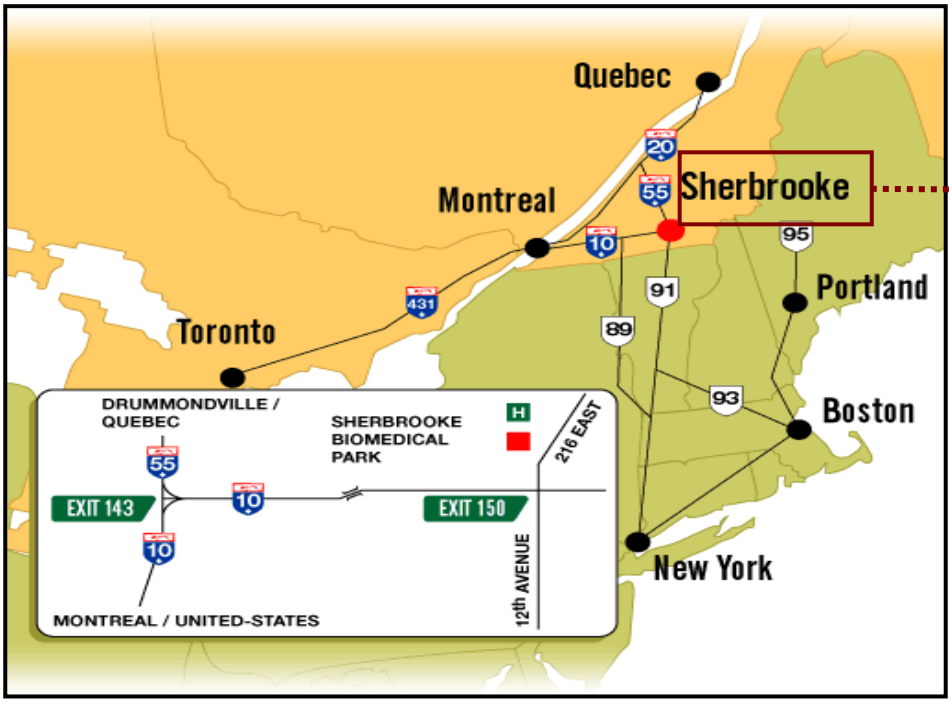


Figure 1a

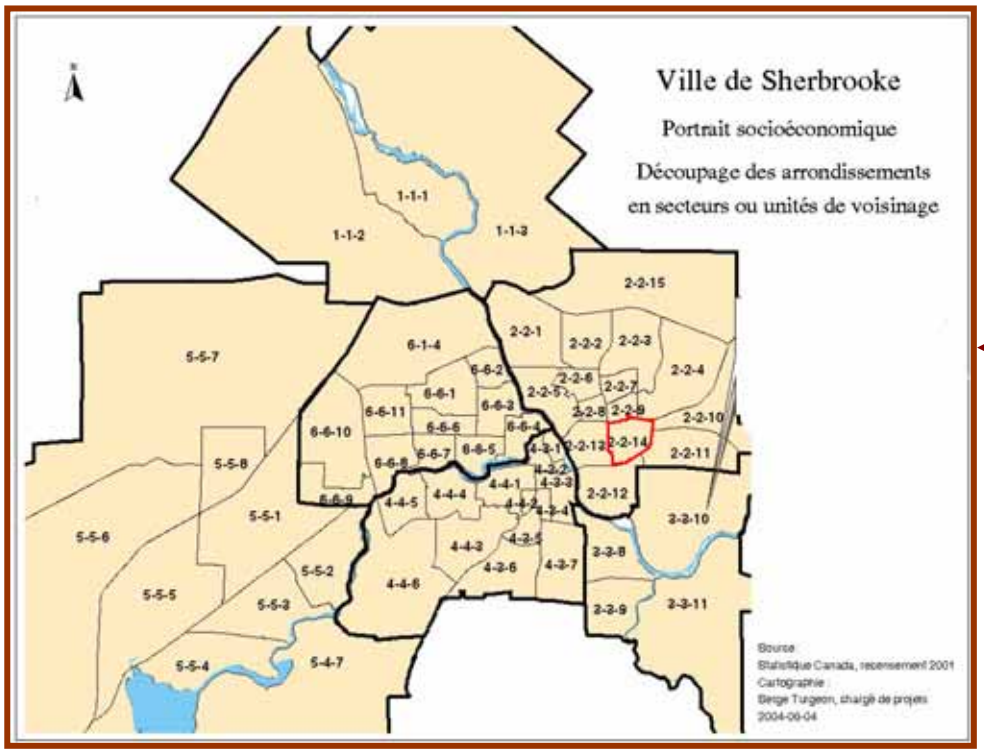


Figure 1b

Modifié de Turgeon (2004)

Figure 1 : Localisation du site d'étude : a) Localisation de la ville de Sherbrooke; b) Découpage des arrondissements en secteurs ou unités de voisinage. *Location of the study area : a) Location of the City of Sherbrooke ; b) Division of neighbourhood sectors or units.*

Diverses études ont montré la faiblesse des techniques conventionnelles de la classification spectrale des images à haute résolution spatiale (HRS) pour distinguer certaines structures urbaines anthropogéniques. Ces dernières ont des réflectances similaires tels les bâtiments et les routes. Certaines études montrent l'importance d'intégrer l'information spatiale, comme la texture (Anys *et al*., 1998) et la détection de contours (Gong and Howarth, 1990 ; Zhang and Guindon, 2003) pour améliorer la qualité de la classification. D'autres procèdent par une segmentation du milieu urbain suivi d'une classification par pixel (Aplin *et al*., 1999) On peut classifier le milieu urbain en appliquant une technique de classification floue et un modèle numérique d'altitude (MNA). On peut aussi classifier le milieu urbain en se basant sur une image provenant de la fusion des bandes multispectrales et panchromatiques de l'image IKONOS (image synthétique). Cette classification a été réalisée à l'aide de l'algorithme du maximum de vraisemblance. Les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants. Un post-traitement a été effectué par une approche orientée objet qui consiste à convertir les pixels de classes spectrales en entités d'utilisation des terres, améliorant ainsi cette classification (Bauer and Steinnocher, 2001).

Cependant, la distinction de la classe des piscines, représentée en moyenne par 10 pixels, passe nécessairement par une classification conventionnelle par pixel. Ceci confirme les propos de Bauer et Steinnocher (2001) qui affirment que l'application de ce genre de classification sur une image à THRS, dans un milieu hétérogène tel que le milieu urbain, donne des résultats fiables malgré son effet de pixels de classes isolées. L'algorithme utilisé pour cette classification est le maximum de vraisemblance. Le choix de cet algorithme est basé sur sa fiabilité dans le traitement des images à haute résolution spatiale en milieu urbain ainsi que sur le faible risque d'erreur qu'il engendre (Puissant, 2003 ; Richards and Jia, 1999). Les avantages reconnus de cet algorithme sont nombreux, dont la maîtrise de la base théorique, la facilité de mise en oeuvre et son application à différents types d'occupation des terres (Ouarab et Smara, 1997). Il fournit de bons résultats pour des milieux hétérogènes, tel que le milieu urbain. Il permet également de contrôler le nombre et la nature des classes urbaines désirées (Aplin *et al*., 1999). De plus, cette méthode de classification est une méthode mature et couramment utilisée dans le domaine de la télédétection, car elle s'appuie sur des considérations théoriques approfondies (Caloz et Collet, 2001). L'application de cet algorithme sur l'image IKONOS fusionnée permet la réduction de l'effet « sel et poivre » et donne une image de couverture de sol avec plus d'objets homogènes (Bauer and Sternnocher, 2001).

3.4. Vérification de la qualité de la classification

Le secteur 2.2.14 (figure 1b), qui se situe dans l'arrondissement de Fleurimont, encadré en rouge sur la figure 2, est utilisé comme zone de vérification. Cette zone a été choisie en raison de sa forte concentration en piscines ainsi que de la disponibilité des permis de construction de ces piscines enregistrés par la Ville de Sherbrooke. L'échantillonnage des piscines, servant comme sites d'entraînement nécessaires pour la classification, a été réalisé à l'extérieur de la zone de vérification ; 318 piscines ont ainsi été échantillonnées. Les piscines présentes dans cette zone ont été choisies comme sites de test et elles serviront à la vérification de la qualité de la classification. Ces sites ont été identifiés par vérification physique sur le terrain et aussi par photointerprétation. Cet échantillonnage a été fait sur la base de la réflectance des piscines qui sont spectralement différentes des autres classes urbaines. Afin d'éviter toute confusion, dans un premier temps, nous avons échantillonné les sept classes urbaines de la Ville de Sherbrooke séparément (piscines, forêt, pelouse, rivières, résidences, routes et sol nu). Ensuite, nous avons regroupé les six dernières classes dans une seule classe dite « non piscines ».

Toutefois, certaines confusions thématiques pourront avoir lieu entre cette classe et les autres objets urbains, et même au sein de la classe des piscines, comme on le démontre sur les figures 3 à 5.

L'image IKONOS, utilisée comme support, a été prise au mois de mai et, à ce moment de l'année, seulement certaines piscines sont pleines d'eau (figure 6a). D'autres ne sont pas remplies ou ne le sont qu'à moitié. Certaines sont couvertes de différentes sortes de toiles et sont des piscines fermées (figure 6b). Ces caractéristiques leur confèrent des signatures spectrales très différentes les unes des autres. Par conséquent, cette variabilité spectrale rend leur distinction difficile à effectuer à l'aide des moyens conventionnels de traitement d'image.

À la suite de la classification de l'image, certains pixels mal classés donnent un aspect « sel et poivre ». Parmi les méthodes d'affinement des résultats de classification les plus simples, le filtre modal, appelé également le filtre majoritaire, est l'un des traitements couramment utilisés (Azerzaq *et al*., 1997). Ce filtre reclassifie le pixel central mobile en fonction des autres pixels de la fenêtre. L'application de ce filtre sur l'image classifiée avec un certain seuil permet de supprimer les pixels isolés (mal classés) et d'améliorer ainsi la qualité de la classification.

L'évaluation de la qualité de la classification s'effectue d'une manière empirique et ce, en sélectionnant des zones de tests correspondant aux échantillons des piscines identifiées physiquement sur la zone de vérification (secteur 2.2.14) durant l'été 2005. Notre intérêt portant sur une seule classe thématique, nous avons donc analysé les erreurs de commission et d'omission des pixels sur la classe des piscines. Nous définissons l'erreur de commission comme étant le rapport entre les pixels mal classés (attribués ou commis à la classe des piscines) et le nombre total de pixels classifiés dans la classe des piscines. L'erreur d'omission constitue le rapport entre les pixels de la classe des piscines non classés sur le total des pixels identifiés à cette classe. Ces erreurs sont calculées manuellement et par photointerprétation sur la zone de vérification, surtout afin d'éliminer les piscines construites entre 2001 et 2005 qui sont repérées sur le terrain et qui n'apparaissent pas sur l'image.

Après la classification de l'image IKONOS, nous déterminons le centre de chaque regroupement de pixels correspondant aux piscines. Ces centres sont identifiés par morphologie mathématique notamment par fermeture (succession de dilatation et érosion) (Caloz et Collet, 2001). Ensuite, par le biais du logiciel SIG ArcView, nous représentons les résultats de la classification sous forme de cartes de répartition des piscines dans la Ville de Sherbrooke pour le mois de mai 2001.

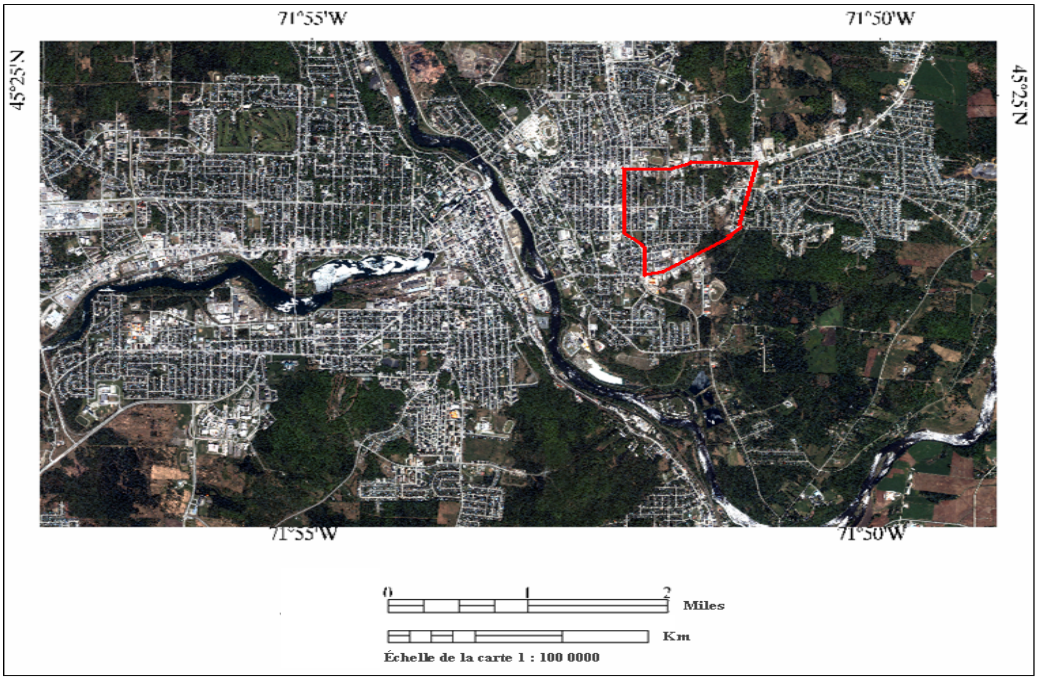


Figure 2 : Emplacement de la zone de vérification sur l'image IKONOS (secteur 2.2.14). *Site of verification area on the IKONOS image.*

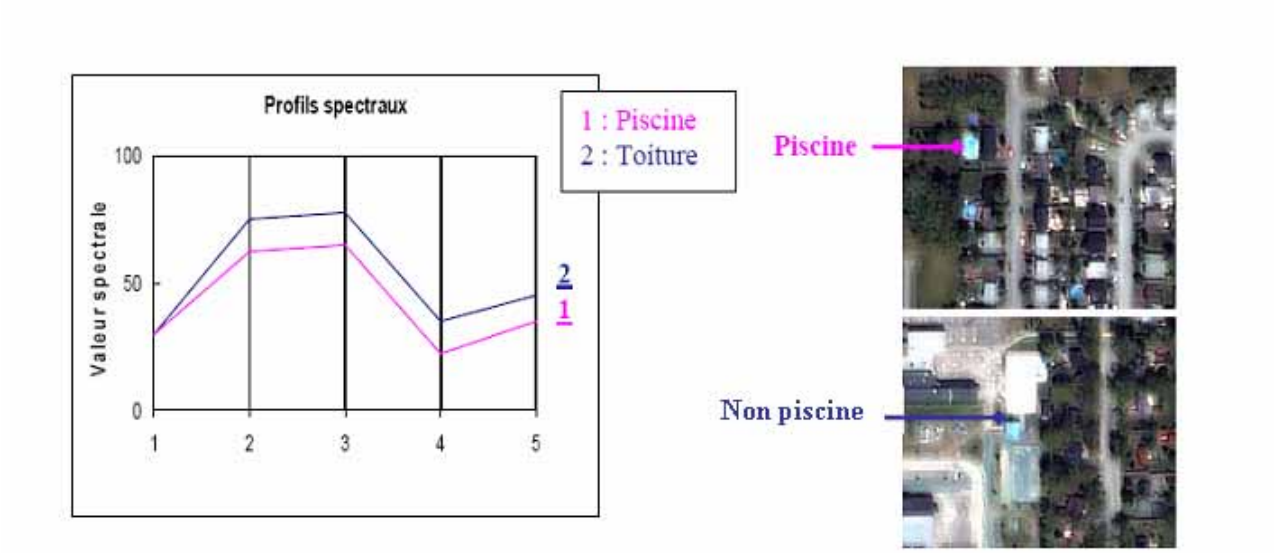


Figure 3 : Signatures spectrales similaires pour deux objets différents. *Similar spectral signatures for two different objects*.

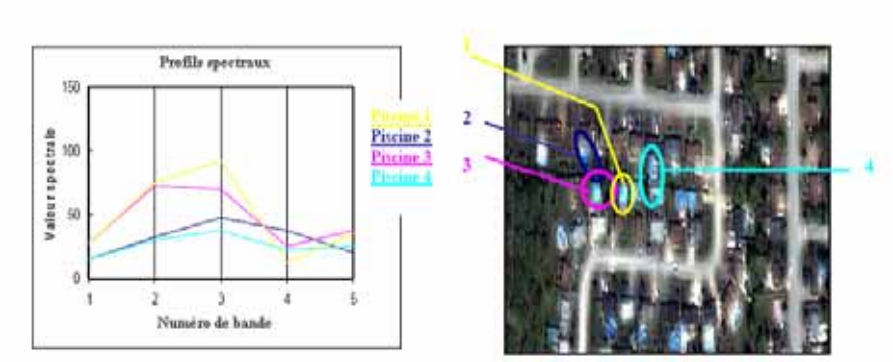


Figure 4 : Différentes réponses spectrales pour la classe des piscines. *Different spectral responses for the pool class*.

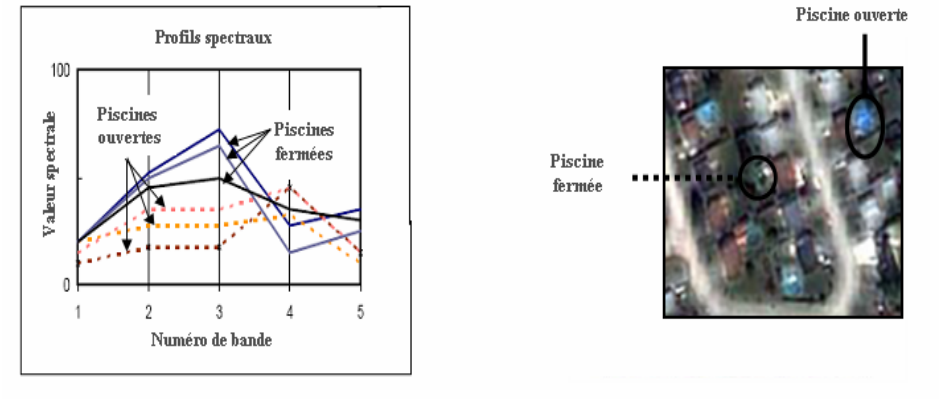


Figure 5 : Différentes réponses spectrales pour une seule piscine. Different spectral responses for one pool only.

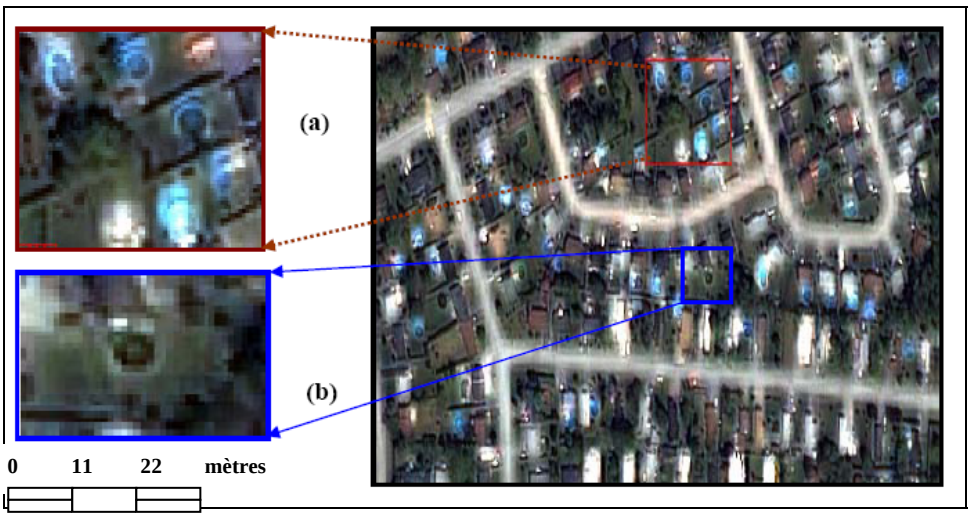


Figure 6 : Réponses spectrales des piscines dans la ville de Sherbrooke (image IKONOS dans le visible) : a) piscines remplies ; b) piscines couvertes. *Pool spectral responses in the city of Sherbrooke (IKONOS image in the visible) : a) filled pools; b) covered pools*

3.5. Corrections géométriques

Afin de pouvoir superposer et interpréter la carte provenant de la classification avec celle de la Ville de Sherbrooke, une correction géométrique s'avère nécessaire. Dans le but de préserver la capacité discriminante des valeurs spectrales initiales de l'image, nous avons choisi d'appliquer ces corrections après la classification (Lhomme *et al*., 2003). À l'aide des données fournies par la Ville de Sherbrooke (fichier vectoriel de la subdivision de la ville en unités de voisinage et permis de piscine), nous avons corrigé les déformations géométriques présentes dans l'image IKONOS utilisée. Pour cela, un rééchantillonnage de cette image a été réalisé. Ce dernier consiste à « *aller chercher dans l'image brute la valeur radiométrique à attribuer aux pixels de l'image rééchantillonnée dans le nouveau système de coordonnées* » (Bannari, 1996). Cela peut engendrer certaines modifications de la valeur radiométrique originale des pixels de l'image corrigée. Afin de remédier à ce problème, nous avons opté pour un rééchantillonnage par interpolation au plus proche voisin. La simplicité et l'avantage de préserver la valeur radiométrique initiale du pixel (Girard et Girard, 1999) sont, dans notre cas, les deux principaux critères du choix de cette méthode, puisque cette propriété est d'une très grande importance pour distinguer la classe des piscines. De ce fait, 16 points d'amers ont été identifiés à partir de points bien localisés sur l'image et sur les fichiers vectoriels.

3.6. Validation des résultats de la classification

La fiabilité de la méthode suivie pour l'identification des piscines a été testée en se basant sur deux types de données : celles provenant des photographies aériennes et celles des permis de construction de piscine fournis par la municipalité.

3.6.1. Photographies aériennes

Six photographies aériennes verticales en couleurs à 1 : 8 000, avec un recouvrement stéréoscopique de 60 %, et acquises le 4 mai 2002 couvrent le site de vérification. En effet, il n'existe pas de photographies aériennes pour l'année 2001 et nous avons opté pour cette date qui est proche de celle de l'acquisition de l'image IKONOS. À l'aide d'un numériseur spécialisé, nous avons numérisé ces photographies. Selon Jensen (1996), la taille du pixel en mètres (PM) est calculée selon l'équation 1 :

$$PM = \frac{S}{PPP * 39{,}37} \qquad (1)$$

où *S* est l'échelle de la photographie aérienne et *PPP* est la taille du pixel en nombre de points par pouce. Par exemple, pour une photographie à 1 : 6 000, numérisée à une résolution de 500 points par pouce, on aura la taille de pixel de 6 000/(500 x 39,37) = 0,3048 mètre.

Dans notre cas, les photographies aériennes ont été numérisées à 600 PPP, ainsi la taille de chaque pixel de ces images est de 0,34 m. En se basant sur la présence de clôtures de différentes natures, nous avons subdivisé manuellement cette zone en plusieurs unités résidentielles. La taille de chaque unité varie considérablement pour le même secteur d'habitat. Ces unités sont définies comme étant le périmètre privé de chaque propriété, incluant la résidence et le jardin qui l'entoure. Sur chaque propriété, nous avons vérifié la présence ou l'absence d'une piscine. Ainsi, pour l'année 2002, nous avons pu dénombrer la totalité des piscines présentes dans la zone de vérification. La reconstitution stéréoscopique en 3-D de ces photographies a favorisé le dénombrement des piscines difficilement opérables qui sont cachées par des toitures ou des arbres.

3.6.2. Permis de construction de piscine

Une deuxième méthode de validation des résultats est basée sur les permis délivrés par la Ville de Sherbrooke. Toute personne désirant construire une piscine sur son territoire doit absolument avoir un permis de construction. Ces derniers permettent à la ville de gérer ses ressources en imposant des taxes annuelles aux détenteurs de ces permis.

Les permis de piscine informatisés avant 2001 sont disponibles pour seulement l'ancienne Ville de Sherbrooke. À partir de la fusion de 2001, les permis informatisés disponibles incluent l'ensemble de l'actuelle Ville de Sherbrooke. À l'aide du SIG, nous avons cartographié les coordonnées de tous les permis de construction de piscine.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Nous regroupons et présentons ici les résultats de cette recherche et les interprétations et discussion des résultats.

4.1. Classification multispectrale

Les résultats obtenus de la classification multibande de l'image IKONOS dans le visible et le PIR en appliquant le masque créé ne sont pas satisfaisants. Le masque créé nous a permis l'élimination des classes urbaines ayant une réflectance

élevée dans le domaine du PIR par rapport à celle des piscines. En revanche, la classification de notre image dans le visible et le PIR, avec ou sans l'application de ce masque, ne permet pas une bonne distinction de la classe des piscines des autres objets urbains. Cette confusion est due à la nature des eaux de certaines piscines. En effet, certaines piscines sont entourées d'arbres ou cachées par des toitures induisant ainsi une erreur, puisqu'elles ont des réflectances dans le PIR similaires à celles de certains objets urbains, tels que les zones d'ombre.

Ces derniers aspects rendent difficile la distinction des piscines, particulièrement en intégrant la bande du PIR dans la classification. Ainsi, nous avons classifié l'image IKONOS après avoir masqué manuellement les rivières Magog et Saint-François, uniquement dans le visible tout en appliquant le masque créé à partir de la bande du PIR. Après la classification, on a d'abord appliqué un filtre modal de taille 5 x 5 pixels. Ensuite un filtre morphologique du type de la fermeture de taille de 3 x 3 pixels a été utilisé pour éliminer les petits objets isolés. La figure 7 présente le résultat obtenu uniquement sur la zone de vérification.

La campagne de terrain qui a eu lieu à l'été 2005 sur la zone de vérification couvrant un territoire de 1,5 km^2 a permis l'identification de 96 échantillons de piscines à l'aide d'un DGPS (Système global de localisation différentiel) avec une erreur variant de 3 à 4 m. Par le biais du logiciel ArcGIS, nous avons cartographié ces piscines qui, par photointerprétation, nous ont permis d'identifier 72 piscines sur la zone de vérification pour l'année 2001.

La classification de l'image IKONOS a révélé la présence de 79 piscines. Seulement 72 d'entre elles sont présentes dans la zone de vérification. Parmi les 79 piscines classifiées, 12 ont été mal affectées à cette classe et 5 ont été omises de la classification. Cependant, cette classification a permis l'identification de 67 piscines correctement attribuées et qui sont présentes dans le site de vérification. De ce fait, l'erreur de commission est de 12/79, soit 15 %, tandis que l'erreur d'omission est de 5/72, soit 7 %.

Afin de comprendre ces erreurs, nous avons analysé les sites d'entraînement servant à cette classification en calculant l'indice Pi relatif à la classe des piscines (Caloz et Collet, 2001). Cet indice est le rapport entre les sites d'entraînement bien classifiés et le nombre total des sites d'entraînement utilisés pour la classification. Dans notre cas, 318 pixels ont été échantillonnés pour la classe des piscines. Tous ces échantillons ont été identifiés à la classe des piscines. Ainsi, l'indice Pi calculé sur toute l'image de l'étude (11 000 pixels x 6 000 pixels) est égal à 100 % ; ceci signifie que les sites d'entraînement choisis sont représentatifs de toutes les piscines présentes dans la zone d'étude. Cet indice reflète aussi l'homogénéité de ces sites qui couvrent le maximum du domaine spectral de la réflectance des piscines. Également, cet indice met en valeur la capacité du classifieur à caractériser la signature spectrale des objets urbains de petites tailles.

De la sorte, l'erreur d'omission calculée est due aux propriétés optiques de certaines eaux des piscines qui possèdent un comportement spectral très différent de la majorité des piscines échantillonnées. Parmi ces propriétés, nous avons relevé la diffusion spéculaire et la température de l'eau. La présence d'arbres qui entourent les piscines modifie également la nature du signal de l'eau réfléchi. En ce qui a trait à l'erreur de commission, celle-ci résulte de la présence de certains objets ayant des ressemblances spectrales (la forme circulaire ou rectangulaire de certains objets urbains) entre les piscines et les autres classes thématiques. Ces erreurs d'omission et de commission peuvent également être causées par le classifieur utilisé qui est de nature probabiliste.

La proportion des pixels bien classés par rapport au nombre total de pixels affectés à la classe étudiée donne une précision de 67/79, soit 85 %. Or, tenant compte uniquement de la réalité de terrain, la précision de cette classification est de 67/72, soit 93 %.

4.2. Corrections géométriques

Les corrections géométriques ont été réalisées en utilisant les fichiers vectoriels des piscines fournies par la municipalité. L'erreur RMS (*root mean square*), qui est la racine carrée des moyennes des écarts, calculée sur l'image est égale à 8, ce qui est équivalent à 8 m. Nous avons accepté cette erreur en raison de la nature du fichier utilisé. Le fichier vectoriel des piscines fourni par la municipalité correspond à l'adresse postale des propriétaires et non pas à l'emplacement géographique exact de ces piscines. Ces deux coordonnées diffèrent légèrement (de quelques mètres seulement). Toutefois, dans le but d'assurer une bonne correction de l'image, nous avons tenté de bien choisir les piscines ainsi que le terrain sur lequel elles ont été construites.

Une validation de cette correction a été réalisée grâce aux fichiers vectoriels des subdivisions de la ville en unités de voisinage et les rues de la ville, qui présentent une parfaite concordance.

4.3. Validation des résultats de la classification

Deux autres moyens ont été utilisés pour vérifier les résultats de classification : les photographies aériennes et les permis de piscine.

4.3.1. Photographies aériennes

La subdivision de la zone de vérification en unités résidentielles a révélé la présence d'environ 581 unités résidentielles, y compris les propriétés communes. L'observation stéréoscopique des photographies servant à cette validation a mis en évidence la présence de 118 piscines en 2002. En 2001, il existait 72 piscines ouvertes dont 67 précédemment classi-

fiées. Puisque ces piscines ne tiennent pas compte des piscines fermées et, dans le but de valider ces résultats, nous avons identifié, à l'aide des permis de piscine et par photointerprétation sur l'image IKONOS, les piscines fermées présentes dans cette zone. Ainsi, nous avons identifié 142 piscines sur l'image IKONOS. Elles comprennent les piscines vides et celles qui sont couvertes par des toitures. Cet écart entre le nombre de piscines trouvé en 2001 et 2002 peut être justifié par l'enlèvement de certaines piscines en 2002. Aussi, sur les photographies aériennes, certaines piscines sont cachées par les arbres ou la toiture des maisons et elles sont ainsi difficiles à repérer. Il serait donc nécessaire d'utiliser des photographies aériennes prises à la même date que l'image pour pouvoir valider efficacement les résultats de la classification.

4.3.2. Permis de piscine

La superposition de la carte des piscines provenant de la classification de l'image IKONOS sur celle des permis émis par la Ville de Sherbrooke a mis en évidence quatre catégories de piscines.

Les deux premières catégories sont les piscines correctement classifiées ayant un permis de construction et celles correctement classifiées mais n'ayant pas de permis de construction. Ces deux catégories sont représentées sur la figure 8 qui contient les piscines qualifiées d'illégales en plus des piscines construites avant 1991 possédant un permis de construction mais non informatisé.

La troisième catégorie regroupe les piscines omises par la classification, qui rassemblent les piscines fermées (une classe différente des piscines ouvertes) et les piscines omises de la classification et qui ne possèdent pas de permis de construction (figure 8).

Finalement, la dernière catégorie représente les piscines ayant un permis de construction, mais qui n'ont pas été classifiées. Il ne s'agit pas des piscines omises de la classification, mais plutôt de piscines qui ont été enlevées (absentes de la zone) alors que leur permis de construction existe toujours dans la banque de données de la municipalité.

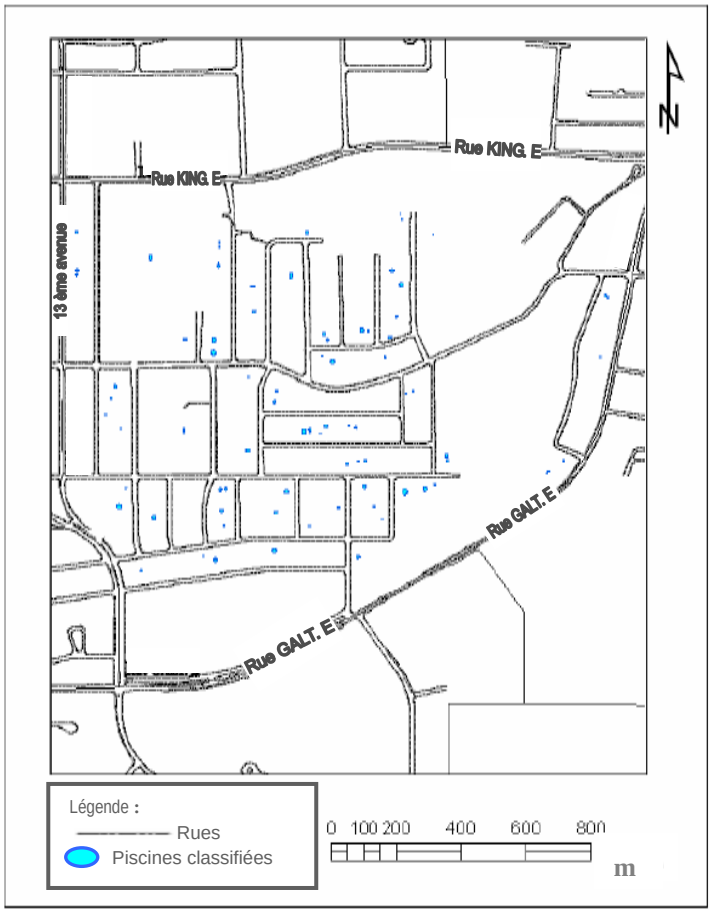


Figure 7 : Cartographie des piscines classifiées dans la zone de vérification. *Map of the classified pools in the verification zone.*

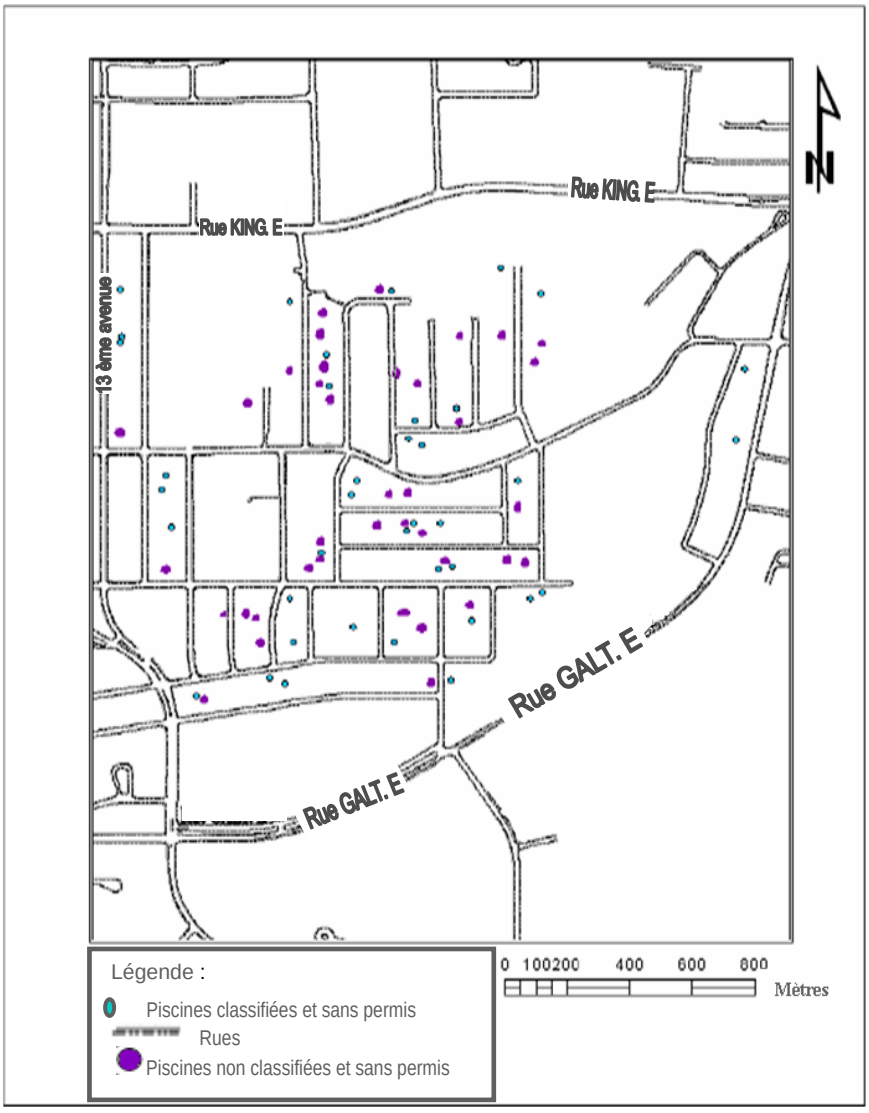


Figure. 8 : Carte des piscines classifiées et non classifiées n'ayant pas de permis. *Map of the classified and non classified pools without permit.*

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La classification spectrale dans le visible d'une image IKONOS par maximum de vraisemblance a permis une bonne distinction de la classe des piscines, notamment après l'application du masque provenant du PIR et l'application du filtre majoritaire. Globalement, cette méthodologie a permis d'identifier 93 % des piscines présentes dans la zone de vérification. En incluant l'erreur de commission commise par le classifieur, la qualité de la classification atteint 85 %. Ainsi, les résultats obtenus par cette méthode sont satisfaisants. Néanmoins, certaines améliorations peuvent être apportées à cette méthode en utilisant une image IKONOS de la Ville de Sherbrooke en plein été où toutes les piscines seraient ouvertes et remplies. Du point de vue technique, l'utilisation de l'information spatiale peut également améliorer la qualité de la classification.

Références

Anys, H., Bannari, A., He, D.-C. et Morin, D. (1998) Cartographie des zones urbaines à l'aide des images aéroportées MEIS-II. International Journal of Remote Sensing, vol. 19, n° 5, p. 883-894.

Aplin, P., Atkinson, P.M. and Curran, P.J. (1999) Fine Spatial Resolution Simulated Satellite Sensor Imagery for Land Cover Mapping in the United Kingdom. Remote Sensing of Environment, vol. 68, n° 3, p. 206-216.

Armand, M. (1995) Télédétection, urbanisme et aménagement. Groupement pour le développement de la télédétection aérospatiale (GDTA), Les cahiers pédagogiques : applications thématiques, Toulouse, Cahier A4, version nº 1.0, 151 p.

Azerzaq, M., Assafi, M. et Fahsi, A. (1997) Utilisation des images HRV de SPOT pour la détection du changement périurbain à Casablanca (Maroc). P. 275-282, *in* Dubois, J.-M., Donnay, J.-P., Ozer, A., Boivin, F. et Lavoie, A. (réd.) Télédétection des milieux urbains et périurbains, Actes des 6e Journées scientifiques du Réseau Télédétection de l'AUPELF/UREF, Liège (Belgique), 2-5 octobre 1995, AUPELF, Montréal, 361 p.

Bannari, A. (1996) La télédétection et les indices de végétation pour la détection de la végétation éparse et moyennement dense : cas de l'environnement urbain. Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 230 p.

Barrette, V. (2003) Élaboration d'un indice global de qualité de vie par intégration de données multisources : cas de la ville de Sherbrooke. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 89 p.

Bauer, T. and Steinnocher, K. (2001) Per-parcel land use classification in urban areas applying a rule-based technique. GeoBIT/GIS, vol, 6, p. 24-27.

Ben-dor, E., Levin, N. and Saaroni, H. (2001) A spectral based recognition of the urban environment using the visible and near-infrared spectral region (0.4–1.1 mm). A case study over Tel-Aviv, Israel. International Journal of Remote Sensing, vol. 22, nº 11, p. 2193–2218.

Brenner, C. and Haala, N. (1999) Extracting of buildings and trees in urban environments. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 54, p. 130-137.

Caloz, R. et Collet, C. (2001) Précis de Télédétection. Volume 3 : Traitements numériques d'images de télédétection. Presses de l'Université du Québec et AUPELF-UREF, Sainte-Foy et Montréal, 386 p.

Girard, M.C. et Girard, C.M (1999) Traitement des données de télédétection. Les Éditions Dunod, Collection technique et ingénierie, Paris, 552 p.

Gong, P. and Howarth, P.J. (1990) The use of structural information for improving landcover classification accuracies at the rural-urban fringe. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 56, nº 1, p. 67-73.

Hemiari, A., He, D.-C. et Morin, D. (2004) Nouvelle approche globale de l'extraction de lignes basée sur la transformée de Radon. Télédétection, vol. 4, nº 1, p. 19-37.

Hinz, S. and Baumgartner, A. (2000) Road Extraction in Urban Areas Supported by Context Objects. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. XXXIII, Part B3, p. 405-412.

Jensen, J.-R. (1996) Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 2e édition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, 318 p.

Karathanassi, V. (1999) A thinning-based method for recognizing and extracting periurban road networks from SPOT panchromatic images. International Journal of Remote Sensing, vol. 20, n° 1, p. 153-168.

Kemmouche, A.-C. et Mering, C. (2000) Cartographie de la densité urbaine par morphologie mathématique : application dans les régions de Paris et Tachkent. P. 33-40, *in* Dubois, J.-M., Caloz, R. et Gagnon, P. (réd.) La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives. Actes des Journées scientifiques de Lausanne 1999. Agence universitaire de la francophonie, Montréal, 463 p.

Lhomme, S., He, D.-C. et Morin, D. (2003) Évaluation de la qualité d'une image IKONOS pour l'identification du bâti en milieu urbain. Télédétection, vol. 3, nº 5, p. 457-466.

Ouarab, N. et Smara, Y. (1997) Application d'un processus itératif de classification dirigée à un site urbain et périurbain algérien. P. 113-120, *in* Dubois, J.-M., Donnay, J.-P., Ozer, A., Boivin, F. et Lavoie, A. (réd.) Télédétection des milieux urbains et périurbains, Actes des 6e Journées scientifiques du réseau télédétection de l'AUPELF/UREF, Liège, 2-5 octobre 1995, AUPELF, Montréal, 361 p.

Puissant, A. (2003) Information géographique et image à très haute résolution. Utilité et application en milieu urbain. Thèse de doctorat, Université de Louis Pasteur, Strasbourg 1, Strasbourg, 349 p.

Puissant, A. and Weber, C. (2002) The utility of very high spatial resolution images to identify urban objects. Geocarto International, vol. 17, nº 1, p. 31-41.

Research Systems Inc. (2004) ENVI software, version 4.1 user's manual.

Richards, J.A. and Jia, X. (1999) Remote sensing digital image analysis: an introduction. 3e édition, Springer-Verlag, New York, 281 p.

Roy, C. (2005) Communication personnelle. Division de l'urbanisme, des permis et de l'inspection, Section de la planification et du développement urbain, Ville de Sherbrooke, Sherbrooke.

Tonyé, E., Akono, A., Nyoungui, A.N. et Assako, R.J. (2000) Extraction du réseau routier sur une image RSO de ERS-2 et sur une image HRV (XS) de SPOT par analyse de texture et morphologie mathématique : application à la ville de Yaoundé (Cameroun). P. 95-103, *in* Dubois, J.-M., Caloz, R. et Gagnon, P. (réd.) La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives. Actes des Journées scientifiques de Lausanne 1999. Agence universitaire de la francophonie, Montréal, 463 p.

Turgeon, S. (2004) Portrait démographique et économique 2001. Division de l'urbanisme, des permis et de l'inspection, Section de la planification et du développement urbain, Ville de Sherbrooke, Sherbrooke.

Zhang, Y. and Guindon, B. (2003) Quantitative assessment of a haze suppression methodology for satellite imagery: effect on land cover classification performance. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, p. 1082-1089.