Télédétection, 2003, vol. 3, n° 5, p. 457–466
Droit de photocopie soumis à l'autorisation

© 2003 CONTEMPORARY PUBLISHING INTERNATIONAL
Publié sous l'enseigne *Éditions scientifiques GB*
Imprimé en France

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ D'UNE IMAGE IKONOS POUR L'IDENTIFICATION DU BÂTI EN MILIEU URBAIN

STÉPHANE LHOMME[a], DONG-CHEN HE[b] et DENIS MORIN[c].

CARTEL, Université de Sherbrooke,
2500, boulevard de l'Université, Sherbrooke, (Québec), Canada J1K2R1
Téléphone : (819) 821-7180 ; télécopieur : (819) 821-7944

Courriel [(a,b,c)] : stephane.L@hermes.usherb.ca ; Dong-Chen.He@Usherbrooke.ca ; DenisMorin@Usherbrooke.ca

(soumis le 17 avril 2003 ; révisé le 6 juin 2003 ; accepté le 2 juillet 2003)

Jusqu'à ces dernières années, les applications de la télédétection urbaine étaient limitées par la résolution grossière des images satellitaires. L'apparition des nouveaux capteurs à très haute résolution spatiale crée aujourd'hui de fortes attentes. Le potentiel réel de ces images reste cependant mal connu. Son estimation nécessite la prise en compte de la qualité de l'image et du type de processus de classification et d'interprétation. L'objectif de cette étude est d'estimer la qualité d'une image Ikonos pour l'identification du bâti en milieu urbain. La qualité dépend, selon notre définition, des caractéristiques intrinsèques et des erreurs présentes sur l'image.

La méthodologie de cette analyse se divise en deux phases. La première consiste en une analyse théorique des caractéristiques des images à très haute résolution spatiale et des sources d'erreurs (géométriques, radiométriques et thématiques) spécifiques aux milieux urbains. La seconde concerne une évaluation pratique de chacun des aspects théoriques à partir d'une image Ikonos de la ville de Sherbrooke (Québec, Canada).

Les résultats obtenus confirment l'influence du relief du terrain sur la précision géométrique. Ils montrent également les effets des caractéristiques intrinsèques de l'image (résolution spatiale, dynamique, niveau de bruit, condition de prise de vue) et de l'influence du milieu urbain sur la perturbation du signal et la confusion des signatures spectrales. Ils permettent de mettre en avant le fort potentiel mais également les problèmes à surmonter pour l'identification semi-automatique du bâti en milieu urbain à partir des images Ikonos.

Mots-clefs : Ikonos ; précision géométrique ; résolution ; estimation des erreurs ; urbain ; Sherbrooke.

QUALITY ASSESSMENT OF IKONOS IMAGE FOR BUILDING EXTRACTION IN URBAN ENVIRONMENT

The availability of new very high spatial resolution sensors creates strong expectations for the remote sensing of urban areas. However the real potentialities of very high spatial resolution images remain relatively unknown. Assessment of the potentialities requires to take into account the image quality and the type of classification/interpretation process. The goal of this study is to estimate the quality of IKONOS image for building identification in urban environment. Quality depends, according to our definition, on the intrinsic characteristics of the image and acquisition errors related to it.

This study is divided into two parts. The first one consists of a theoretical analysis of the characteristics of the very high spatial resolution images and the sources of error (geometrical, radiometric and thematic) specific to urban environment. The second one is related to a practical evaluation of each theoretical aspect applied on an IKONOS image of Sherbrooke city (Quebec, Canada). The results confirm the effects of relief upon the geometrical precision. They also show that the signal disturbances and the confusion in the spectral signatures are related to the image characteristics and the urban nature of environment. From these results we can see the potentialities of such high spatial resolution images but also the issues to be considered for the building identification process in urban areas.

Keywords : Ikonos, geometric accuracy, resolution, error estimation, urban, Sherbrooke.

1. INTRODUCTION

Jusqu'à ces dernières années les applications de la télédétection urbaine se limitaient généralement à distinguer des grands types d'occupation du sol urbain (bâti dense, zones résidentielles, commerciales, espaces verts, etc.) et leur évolution temporelle. Cette limitation était essentiellement due à la résolution grossière des images satellitaires. L'apparition des nouveaux capteurs à très haute résolution spatiale (de l'ordre du mètre) crée aujourd'hui de fortes attentes. Le potentiel réel de ces images reste cependant mal connu. Son estimation est complexe et nécessite la prise en compte de différents éléments. Ainsi, le type d'image (résolutions spatiale et spectrale), le type de milieu (naturel ou anthropique), le type d'interprétation demandée (interprétation de classe, identification d'objet, etc.) et le type de méthodes d'interprétation utilisées doivent être étudiés.

Les méthodes d'interprétation classiques, conçues pour des images de faible résolution spatiale, semblent mal adaptées à l'identification des objets à partir des images à très haute résolution spatiale (Guindon, 2000). L'ensemble du processus classique

(classification, interprétation) doit donc être repensé. Dans le choix du processus, la première étape consiste à évaluer la qualité d'une image.

L'objectif de la présente étude est d'estimer la qualité d'une image Ikonos en vue du choix des prétraitements et des méthodes d'interprétation à appliquer pour l'identification du bâti en milieu urbain. La qualité d'une image est définie ici comme *« le degré de fidélité (géométrique et radiométrique) existant entre l'image et la réalité du terrain, ceci indépendamment des méthodes d'interprétations »*. Ainsi définie, la qualité d'une image dépend de ses caractéristiques intrinsèques et des erreurs présentes sur l'image. Pour aider à clarifier l'analyse, nous proposons de définir quelques notions :

– *les erreurs géométriques* définies comme les écarts pouvant exister entre les coordonnées bidimensionnelles d'un point sur l'image et ses coordonnées réelles au sol ;

– *les erreurs thématiques* définies comme l'absence de relation ou la confusion des relations entre l'occupation du sol et les valeurs radiométriques mesurées sur l'image ;

– *la perturbation du signal* définie comme le degré de perturbation subi par le rayonnement sur l'ensemble de la chaîne de mesure indépendamment des perturbations dues au système d'acquisition. Ainsi définie, la perturbation du signal pourra être soit directement responsable des erreurs thématiques (ombres) soit un facteur aggravant d'autres sources d'erreurs thématiques (confusion des signatures spectrales).

La méthodologie choisie consiste tout d'abord en une analyse théorique de chacun des éléments influençant la qualité d'une image. Chacun d'eux sera ensuite évalué pratiquement à partir d'une image Ikonos qui servira de support à cette analyse.

2. ANALYSE THÉORIQUE

Il s'agit ici de mener une analyse théorique de l'influence des propriétés intrinsèques de l'image, des variations du relief et du milieu urbain sur la qualité de l'image.

2.1. Influence des propriétés intrinsèques de l'image

Dans les propriétés intrinsèques de l'image, on distingue principalement la résolution spatiale, les caractéristiques spectrales, la dynamique de l'image et le niveau de bruit.

• **La résolution spatiale** est une caractéristique essentielle de l'image. Elle détermine en grande partie la taille limite des objets identifiables (Puissant and Weber, 2002). Elle dépend des propriétés du système capteur-vecteur (focale, altitude, fonction de modulation de transfert) et de l'angle de visée. Les images Ikonos peuvent être acquises sous différents angles, un procédé d'échantillonnage (*Modulation Fonction Transfert Compensation)* permet d'obtenir une résolution identique entre toutes les images mais peut modifier quelque peu les valeurs radiométriques (Baltavias *et al.*, 2001). La résolution influence également le nombre de pixel par unité de surface au sol et donc la durée des traitements.

• **La dynamique radiométrique d'une image** est fonction du contraste des objets et de la plage de valeurs disponibles. Les images Ikonos, codées en 11 bits offrent une plage de 2 048 valeurs pour chacune des bandes. Une grande plage de valeur permet théoriquement de mieux saisir les nuances et augmente ainsi les possibilités en matière d'interprétation.

• **Le niveau de bruit** est fonction des perturbations inhérentes au système d'acquisition. C'est un paramètre influent de l'interprétabilité. Pour les images Ikonos, l'acquisition des valeurs se fait par intégration du signal sur plusieurs barrettes pour chaque pixel, ce qui provoque un lissage des valeurs. Pour corriger ce phénomène un rééchantillonage est appliqué, ce qui permet d'obtenir des images nettes mais peut aussi provoquer des artéfacts. Un étirement des valeurs (*Dynamic Range Adjustement*) peut être appliqué par le fournisseur d'images pour augmenter la lisibilité, ce qui provoque une détérioration de l'exactitude des valeurs radiométriques. Les dérives de la plate-forme (dérives orbitales, variations d'altitude) provoquent quant à elles, des déformations géométriques sur les images (roulis, tangage, etc.) qui sont cependant bien contrôlées et automatiquement corrigées par le distributeur d'images (Baltavias *et al.,* 2001 ; Gerslach, 2000).

• **Les conditions de prise de vue** sont également un paramètre essentiel à prendre en compte dans la qualité de l'image. On distingue les angles d'éclairement et de visée (zénithaux et azimutaux) et les conditions atmosphériques. Les angles d'éclairement modifient les conditions d'éclairement des objets et donc leur réponse spectrale. Ils ont aussi un impact sur l'ombrage. Les conditions atmosphériques (présence de nuage, épaisseur optique, teneur en vapeur d'eau) modifient également les valeurs radiométriques (décalage des comptes numériques par ajout de la luminance intrinsèque de l'atmosphère et perte de contraste par absorption par les gaz). Les variations de ces conditions de prise de vue, associées aux variations d'angle d'élévation du capteur, modifient de manière importante la qualité d'une image et donc ces potentialités d'interprétation. Ceci est essentiel car

cela signifie qu'il n'est pas possible d'estimer précisément la qualité d'une image avant son acquisition, ce qui est une forte limitation pour les utilisateurs.

2.2. Influence du milieu

En plus de ses caractéristiques intrinsèques, la qualité d'une image dépend du milieu. Nous avons donc étudié l'influence du relief puis du milieu urbain.

2.2.1. Influence du relief sur la précision géométrique de l'image

Le relief général du terrain influence la précision géométrique. Les images Ikonos résultent d'une projection relativement à un plan théorique constant, parallèle à l'ellipsoïde terrestre, ce qui provoque des erreurs de position des points projetés.

La valeur de ces erreurs (notée dg sur la figure 1) est fonction de la différence d'altitude entre le point visé et le plan de référence ainsi que de l'angle d'élévation du capteur (Jacobsen, 2002). Elle est calculée par la formule **dg = da.tang v** (où dg : déviation géométrique ; da : déviation d'altitude par rapport au plan de référence ; v : angle zénithal de visée).

La direction de ces erreurs est fonction de l'altitude des points au sol. Elle sera opposée à l'angle azimutal de visée pour les points d'altitudes inférieures au plan de référence (cas dg1 sur figure 1) et dans la même direction que l'angle azimutal de visée pour les points d'altitudes supérieures au plan de référence (cas dg2 sur figure 1).

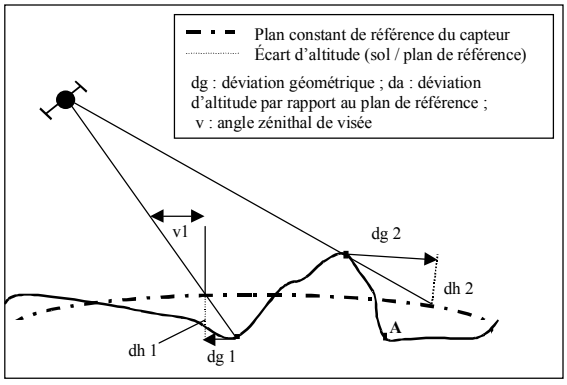


FIGURE 1 Projection géométriques des « géo-images » Ikonos « inspirée de Jacobsen (2002) ». *Geometrical projection of « geo-images » IKONOS « inspired by Jacobsen (2002) ».*

La *« précision de positionnement circulaire »* des produits de base (« *géo images* ») fournis par le distributeur d'images (*space-imaging)* est de 50 m avec un taux de confiance de 90 % (Toutin, 2000). Dans des configurations extrêmes comme des montagnes abruptes, les erreurs peuvent être supérieures. Des erreurs thématiques peuvent alors s'ajouter aux erreurs géométriques. Si le relief montre de fortes variations, certaines zones comme, par exemple, les fonds de vallée peuvent ne pas apparaître sur l'image (point A sur la figure 1).

2.2.2. Influence du milieu urbain sur la qualité de l'image

Une des caractéristiques distinctives du milieu urbain est sa complexité. Elle se traduit par la forte répétitivité spatiale de nombreux éléments, naturels ou anthropiques, de tailles et de formes différentes, composés de nombreux types de matériaux. Cette complexité diffère selon le type de ville, mais reste généralement distinctive des paysages naturels.

Les erreurs ou confusions spécifiques au milieu urbain sont dues soit aux variations locales du relief (erreurs géométriques, ombres, etc.), soit plus généralement à la composition du milieu (confusion des signatures spectrales). Dans les deux cas, les erreurs sont dépendantes de la perturbation du signal, fortement influencé par la complexité des matériaux et de leur arrangement.

A) Le relief local des milieux urbains

Les fortes variations locales du relief, liées à la présence des « objets urbains » (en particulier les bâtiments) produisent des erreurs géométriques pouvant mener à des erreurs thématiques. Ainsi, selon le processus de projection présenté sur la figure 1, la position de la toiture sur le plan est erronée (figure 2a). Si le bâtiment n'est pas perpendiculaire à l'axe de visée, la forme de la toiture subit des déformations (figure 2b). Dans certaines conditions (grand angle de visée et bâtiments élevés) la façade peut être projetée sur l'image, masquant de ce fait une partie du sol (figure 2a et b). On a donc à la fois déformation géométrique et erreur thématique.

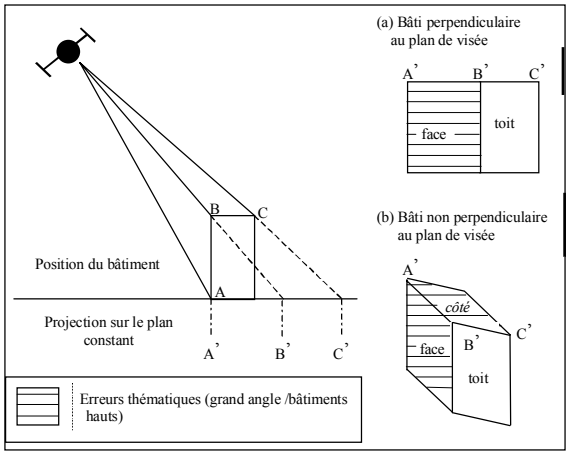


FIGURE 2 Déformation géométrique du bâti. *Geometric displacement of building.*

B) La perturbation du signal

L'intensité du signal qui arrive au capteur dépend de l'éclairement que reçoit la cible, de ses caractéristiques de réflexion et des perturbations par l'atmosphère du rayonnement réfléchi. La complexité du milieu urbain influence chacun de ces processus.

a) L'éclairement reçu par une cible (irradiance) résulte de différentes composantes. On distingue généralement l'éclairement direct (directement transmis par l'atmosphère), l'éclairement diffus (diffusé par l'atmosphère en direction de la cible) et l'éclairement dû aux effets d'environnement (réfléchi par l'environnement et rediffusé par l'atmosphère en direction de la cible). Dans les milieux complexes, les phénomènes se compliquent et on introduit l'éclairement réfléchi (direct ou diffus, réfléchi par l'environnement de la cible dans sa direction) ainsi que les phénomènes d'ombrage (figure 3). L'éclairement reçu par une cible en milieu urbain peut donc s'écrire :

$$\mathbf{E_{total} = E_{direct} + E_{diffus} + E_{envir} + E_{réflé}}$$

où E_{direct} : Éclairement direct ; E_{diffus} : Éclairement diffu ; E_{envir} : Éclairement du aux effets d'environnement ; $E_{réflé}$: Éclairement réfléchi .

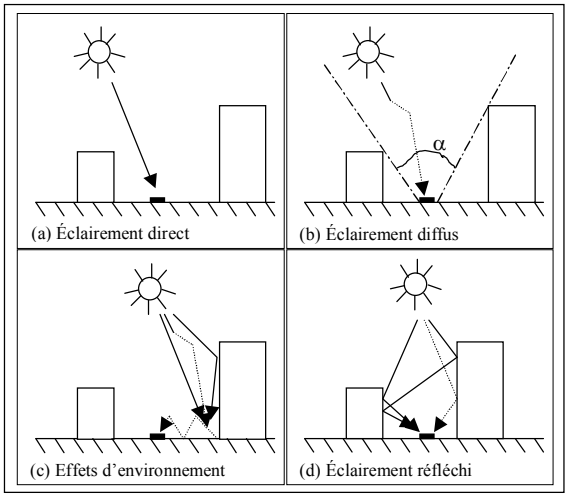


FIGURE 3 Composantes de l'irradiance en milieux urbains. *Irradiance components in urban environment.*

La contribution relative de ces composantes est très variable (Miesh and Briottet, 2000). Si l'éclairement direct et l'éclairement diffus sont généralement majoritaires, aucune autre composante n'est totalement négligeable. La variabilité de ces composantes perturbe de manière significative l'éclairement que reçoit la cible et donc le signal.

b) L'hétérogénéité des propriétés de réflexion des surfaces perturbe également le signal reçu. Les caractéristiques géométriques de réflexion d'une surface ne sont pas constantes pour les différents angles d'éclairement. Ces variations sont caractérisées par la « *réflectance bidirectionnelle* » définie comme *« le rapport entre la luminance réfléchie dans une direction donnée à la luminance incidente »* (Bonn et Rochon, 1992, p. 76). La réflectance bidirectionnelle d'une surface dépend de la rugosité du matériau, de son orientation et des longueurs d'onde. Les variations locales des types de matériaux et des orientations sont très fortes en milieu urbain. Ainsi, pour ces milieux, l'hypothèse généralement admise de l'homogénéité spatiale de la réflectance est fortement contestable (Miesch and Briottet, 2002 ; Meister, 1997).

c) La transmission du rayonnement réfléchi (luminance) peut également être perturbée par le milieu et ceci dépendamment de la nature des objets. Il est cependant difficile de quantifier ces perturbations.

Ces observations montrent l'influence du milieu urbain sur la perturbation du signal et ce, sur l'ensemble de la chaîne de mesure (éclairement, réflexion et transmission). Dans les cas extrêmes, comme l'ombrage, cette perturbation se traduit par une erreur d'identification. Le plus souvent, elle modifie modestement et de manière aléatoire, la signature spectrale du pixel. Elle peut ainsi être considérée comme un facteur aggravant des sources d'erreurs ou de confusions étudiées postérieurement. D'une manière générale cette perturbation contribue à diminuer la signification thématique du pixel.

De par sa composition et sa nature anthropique, le milieu urbain contribue à diminuer la relation entre occupation du sol (éléments naturels ou matériaux) et utilisation du sol (fonction des objets ou éléments).

3. ÉVALUATION DE L'IMAGE IKONOS DE SHERBROOKE

Il s'agit ici d'évaluer pratiquement chacun des aspects discutés dans la section 2. Le support de l'analyse est une image Ikonos de la ville de Sherbrooke (Québec, Canada) acquise le 20 mai 2001 à 10 h 50 (heure locale). L'image est comprise entre 45°27'31,74" et 45°20'10,31" de latitude nord et entre 71°58'0,68" et 71°48'13,78" de longitude ouest (projection transversale Mercator). Elle couvre une surface totale de 100 km^2. Pour cette étude, une zone de 8,5 × 7,5 km, correspondant à la partie pour laquelle les données du S.I.G étaient disponibles, a été sélectionnée. Une autre image montrant une zone de recouvrement avec la première, acquise le 17 mai 2001 à 10 h 42 sera également utilisée.

Sherbrooke est une ville de taille moyenne, de type nord américain. Les parcelles sont de grande taille, les rues larges et le bâti généralement espacé et bas (moins de 10 m). Le relief de la ville est vallonné avec d'importantes variations d'altitudes (140 à

340 m environ). Une partie des bâtiments est donc construite sur des zones pentues montrant des orientations et des inclinaisons diverses.

3.1. Caractéristiques intrinsèques de l'image

• **La résolution spatiale** originale correspondant à l'angle d'élévation du capteur (angle entre le capteur et l'horizon) pour l'image de Sherbrooke est de 0,88 × 0,95 m pour la bande panchromatique. L'image a ensuite été rééchantillonnée à 1 × 1 m à l'aide d'un procédé spécifique au fournisseur d'images (*Modulation Fonction Transfert Compensation).*

• **La dynamique de l'image** conserve les valeurs originales puisque le procédé d'ajustement (*Dynamic Range Adjustment)* n'est pas appliqué. L'histogramme ne couvre pas la plage des 2 048 valeurs. La répartition diffère un peu selon les bandes, mais les plages d'occupation principale (contenant plus de 99 % des pixels) restent toutes situées dans une fourchette de valeurs restreintes (de 80 à 700 pour le panchromatique, de 190 à 550 pour le bleu, de 140 à 690 pour le vert, de 80 à 600 pour le rouge et de 50 à 1 200 pour le proche-infra rouge). Sur la figure 4, on illustre ces résultats. Pour une meilleure lisibilité, l'axe des fréquences a été coupé à 2 000 000 (le maximum du pic du panchromatique est situé vers 5 000 000) et l'axe des niveaux de gris à 1 200 (sur 2 048).

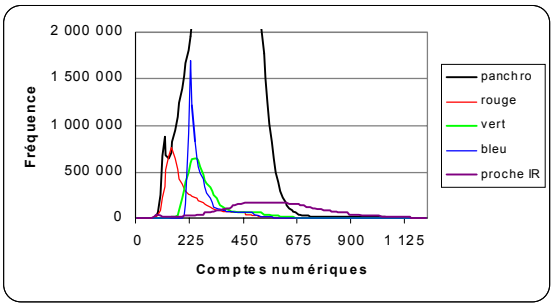


FIGURE 4 Histogramme des comptes numériques. *Numeric values histogram.*

L'analyse des pixels correspondant aux valeurs extrêmes apporte des informations supplémentaires. Les pixels correspondant aux valeurs extrêmes maximum ont une signification thématique claire. Dans la bande panchromatique et dans les bandes visibles, ils correspondent soit à des pixels d'eau observés en diffusion spéculaire, soit à des surfaces particulièrement réfléchissantes (toitures de tôle, voitures, etc.). Pour la bande proche-infrarouge les fortes valeurs correspondent à des zones de végétation particulièrement denses.

Les pixels correspondant aux valeurs extrêmes minimum sont très peu nombreux. Ils ne correspondent pas à une classe thématique mais proviennent de bruits très localisés. Ils sont surtout présents sur la bande panchromatique.

• **Le niveau de bruit** a été estimé à partir de zones homogènes (champs, forêt, eau) pour chacune des bandes à l'aide du rapport signal sur bruit (R.S.B.) qui a été calculé en divisant la moyenne par l'écart type sur des fenêtres 3*3 pixels. La valeur retenue est celle du pic de l'histogramme de l'image du R.S.B. (Zanoni and Ryan, 2002). Les valeurs du S.R.B quantifient le niveau de bruit, plus l'image est bruitée plus le R.S.B. est faible. Il faut cependant être prudent dans les interprétations car ces valeurs sont aussi l'expression de la dynamique locale de l'image. Ainsi, une valeur de S.R.B élevée, peut exprimer un signal pur mais indique également une grande homogénéité locale.

Sur le tableau 1, on présente les valeurs moyennes des comptes numériques et les valeurs du R.S.B. pour chacune des bandes (image acquise le 20 mai 2001).

Il ressort que les valeurs du R.S.B. varient entre les sites mais restent similaires pour les trois sites d'eau. Les valeurs du R.S.B. sont toujours plus faibles pour le panchromatique ce qui indique une augmentation du bruit (ou de l'hétérogénéité locale) avec la diminution de la résolution. Dans tous les cas les valeurs du R.S.B. décroissent avec l'augmentation de la longueur d'onde et ceci indépendamment des comptes numériques (exprimés par la valeur moyenne dans le tableau). Ceci peut s'expliquer par une plus forte perturbation atmosphérique pour les grandes longueurs d'onde ou comme le propose Zanoni et Ryan (2002) par l'ajout de bruit, qui semble en relation avec les longueurs d'ondes, dû à l'application du procédé *Modulation Fonction Transfert Compensation.*

Globalement l'application du R.S.B permet de mettre en valeur la présence de bruit sur l'image et donne une base quantitative pour l'estimation des futurs pré-traitements.

• **Les conditions de prise de vue** pour l'image de Sherbrooke sont les suivantes : les angles zénithaux et azimutaux solaires sont respectivement de 62,55° et 151,82°. Les angles zénithaux et azimutaux de visée respectivement de 67,56° et 353,99°. Les conditions atmosphériques étaient favorables.

La comparaison entre deux sous-images (bande panchromatique uniquement) prises à trois jours d'intervalle presque à la même heure avec le même angle de visée, permet d'estimer l'importance des conditions atmosphériques dans la qualité de l'image. Le 17 mai l'épaisseur optique à 500 nm était de 0,849 contre 0,095 le 20 mai (images 1 et 2, figure 5). Ces données, mesurées sur le campus de l'Université de Sherbrooke sont issues du réseaux *Aerosol robotic network* (NASA, 2003).



FIGURE 5 Influence des conditions atmosphériques sur la qualité de deux sous-images (bande panchromatique). *Influence of atmospheric conditions on the quality of two subset images (panchromatic band).*

TABLEAU 1 R.S.B et moyenne de 6 zones tests. *S.N.R and mean for 6 test zones.*

	Zone 1 (champs)		Zone 2 (rivière)		Zone 3 (forêt)		Zone 4 (lac)		Zone 5 (rivière)		Zone 6 (champ)	
	R.S.B	moy	R.S.B	moy	R.S.B	moy	R.S.B	moy	R.S.B	moy	R.S.B	moy
B	120	388	120	227	64	225	130	237	140	226	110	238
V	88	403	75	192	22	246	110	220	85	194	85	262
R	73	362	35	97	18	147	55	137	50	110	58	151
PI	65	305	28	82	11	790	32	110	25	84	56	1284
P	34	361	11	111	9	72	20	134	13	115	38	627

La qualité visuelle des images apparaît fortement liée aux conditions atmosphériques. L'étude des histogrammes des deux sous-images (figure 6) montre un décalage des valeurs dû à la réflectance intrinsèque de l'atmosphère beaucoup plus importante pour l'image 1. La réduction significative des plages d'occupation principales sur l'histogramme de l'image 1 traduit quant à elle la perte de contraste dû à la diffusion atmosphérique (570 niveaux pour l'image 2 contre 300 niveaux pour l'image 1). L'augmentation de l'épaisseur optique a également pour effet de diminuer fortement les effets d'ombrage et de réflexion spéculaire de l'eau sur l'image 1 (l'absence de la réflexion spéculaire peut cependant être due à d'autres causes comme par exemple la présence de vaguelettes).

3.2. Estimation de la qualité géométrique

Pour estimer les erreurs géométriques de l'image Ikonos, le réseau routier numérisé à partir de relevés d'arpentage a été utilisé comme référence (données issues du S.I.G de la municipalité). La précision de ces données est supérieure à 0,5 m. Des points significatifs ont ensuite été choisis et un segment directionnel tracé entre la position du point sur la référence et la position du même point sur

l'image (figure 7). La précision des mesures ainsi effectuées est estimée à + ou – 2 m. On a ainsi collecté 133 couples de points uniformément sur l'ensemble de l'image. La distance séparant chaque couple de points (traduisant la distance de l'erreur) ainsi que la direction du segment ont ensuite été calculés. L'altitude de chaque point a été estimée à partir de points levés fournis par le S.I.G de la municipalité (la précision des points d'altitude est de + ou – 1m). Les contours des bâtiments numérisés ont également été utilisés pour illustrer l'influence des variations locales du relief.

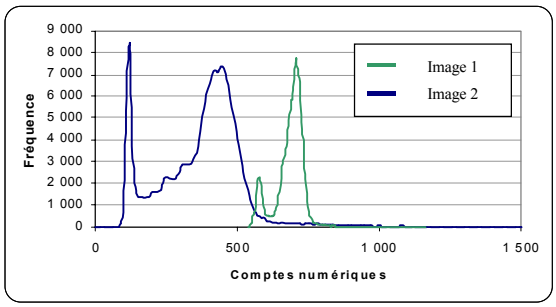


FIGURE 6 Histogrammes de deux sous-images. *Histogram of two subset images.*

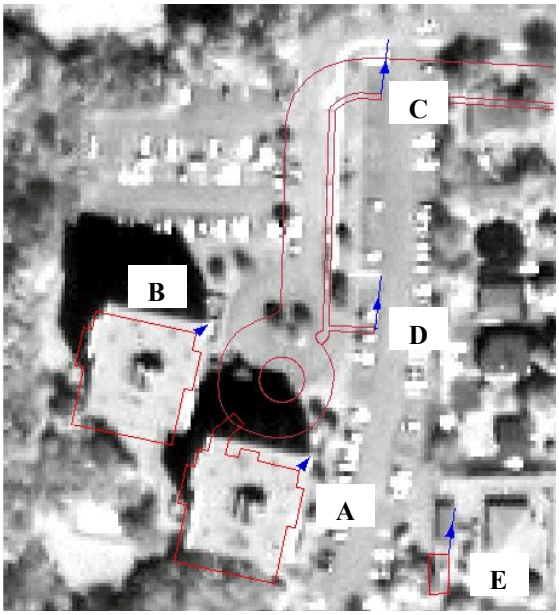


FIGURE 7 Évaluation des erreurs géométriques au niveau du sol et au niveau des toitures. *Ground and roof building geometric error evaluation.*

Pour estimer les erreurs géométriques la longueur et la direction des segments ont été prises en compte. La longueur des segments est très variable (de 2 à 40 m ; moyenne : 16 m ; écart type : 10,12). Sur 133 segments, 76 montrent des longueurs supérieures à 10 m. Ceci traduit des déformations importantes et très inégales sur l'ensemble de l'image. Au niveau directionnel, les segments se situent tous dans une fourchette angulaire de 180° environ plus exactement entre 349° et 360° et entre 0° et 168° (on considère le 0° au nord et sens de rotation anti-trigonométrique). Cette fourchette se réduit à 30° si on considère uniquement les distances supérieures à 15 m pour lesquels les valeurs angulaires sont moins sujettes aux imprécisions de traçage. L'angle azimutal de visée est quant à lui de 354°.

La mise en relation de la distance des segments avec l'altitude des points permet de vérifier pratiquement l'influence du relief sur les déformations géométriques. Ainsi, sur la figure 8, on montre une décroissance des distances d'erreur inversement proportionnelle aux altitudes et ce jusqu'aux points situés aux alentours de 240 m. Cette tendance s'inverse ensuite pour les points supérieurs à 240 m. La relation entre altitude et erreur géométrique est donc très claire. Elle met en évidence un plan de référence théorique du capteur situé vers 240 m. Il n'est malheureusement pas possible de confirmer ce chiffre car cette donnée n'est pas fournie par le distributeur d'images. Une courbe représentant les erreurs théoriques pour un plan de référence à 240 m calculée à l'aide de l'angle zénithal de visée du capteur selon la formule exposée dans la section 3.1.1 a été superposée au nuage de points (courbe noire sur la figure 8). La similitude entre cette courbe et le nuage de points appuie l'hypothèse d'un plan de référence situé près de 240 m.

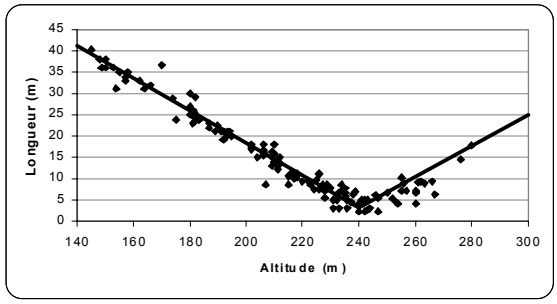


FIGURE 8 Relation entre l'altitudes et les valeurs des erreurs (courbe théorique et valeurs mesurées). *Relation between elevation and error values (theoretical curve and measured values).*

L'analyse du comportement angulaire en fonction de l'altitude montre un changement de direction situé autour de 240 m ce qui confirme également les observations précédentes (figure 9).

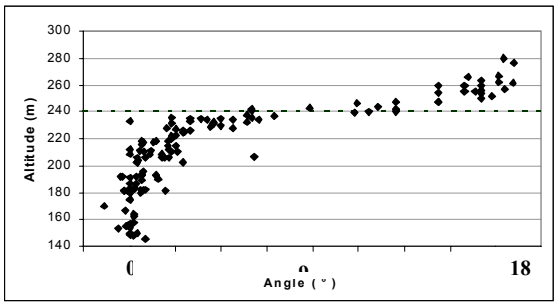


FIGURE 9 Relation entre l'altitude et les angles de déformation. *Relation between elevation and displacement angle.*

Les directions des déformations restent cependant très variables. Cette variabilité est plus marquée pour les segments de courtes longueurs. Les segments supérieurs à 15 m se situent entre 349° et 0° et entre 0° et 20°, ce qui est conforme à la position du capteur. Les variations angulaires peuvent s'expliquer par des erreurs de traçage (hypothèse surtout valable pour les segments de courte longueur) ou par des différences dans l'orientation des pentes qui perturbent la projection.

Les erreurs géométriques liées aux bâtiments sont illustrées sur la figure 7 ou le sommet des tours (points A et B) montre un plus faible décalage que les points situés au sol (points C et D). Ceci s'explique car on est dans une situation où l'altitude au sol de 200 m, donc inférieure au plan de référence théorique du capteur (cas du dg1 sur la figure 1). En examinant la figure 7, on peut également observer la légère déformation géométrique de la toiture des tours. Cependant, dans la majorité des cas, la présence de bâtiments ne mène pas à des déformations nettement distinctes de celles observées au sol (point E sur la figure 7). Ceci s'explique par une faible hauteur des bâtiments et un angle de visée assez élevé.

On peut donc conclure de cette analyse que l'image de Sherbrooke montre des erreurs géométriques qui semblent essentiellement dues au relief. La variation angulaire de ces erreurs, en particulier pour les erreurs « courtes » n'a pu être expliquée avec certitude. L'hétérogénéité spatiale des déformations géométriques liées aux altitudes prouve la nécessité de prendre en compte les altitudes pour effectuer des corrections géométriques.

3.3. Illustration de la confusion des signatures spectrales.

L'analyse théorique a mis en évidence l'influence du milieu urbain sur la confusion des signatures spectrales. Sur l'image de Sherbrooke, trois grands types de confusion se distinguent. Ils sont illustrés par les profils spectraux tirés de l'image en 11 bits pour des points significatifs :

– différents matériaux montrent des signatures spectrales similaires ; sur la figure 10a, on illustre cette confusion entre des pixels de toiture, de route et de stationnement (respectivement A, B, C sur la figure 11) ;

– le même type d'objet est composé de matériaux différents (différents types de toitures); sur la figure 10b, on montre les différences de signatures spectrales entre différents types de toitures (points A, D, E, F sur la figure 11) ;

– les mêmes matériaux montrent des signatures spectrales différentes ; sur la figure 10c, on illustre ces différences pour 3 pixels de bitume (B, G, H sur la figure 11); ces différences peuvent être causées par du bitume d'usure ou de composition différente (usure) ou encore par la perturbation du signal, étudiée à la section 3.4.1.

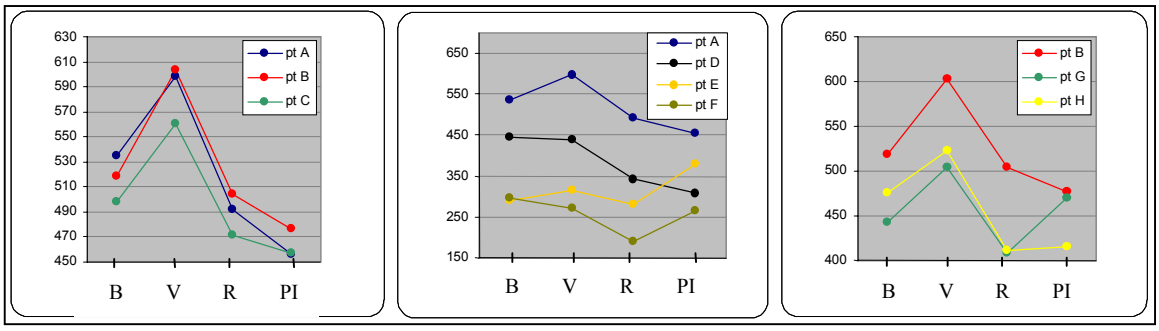


FIGURE 10 Signatures spectrales de différents pixels urbains (exprimées en valeurs numériques pour les bandes bleu, vert , rouge et proche infrarouge). *Spectral signatures of several urban pixels (in numeric values for blue, green, red and near infrared band).*

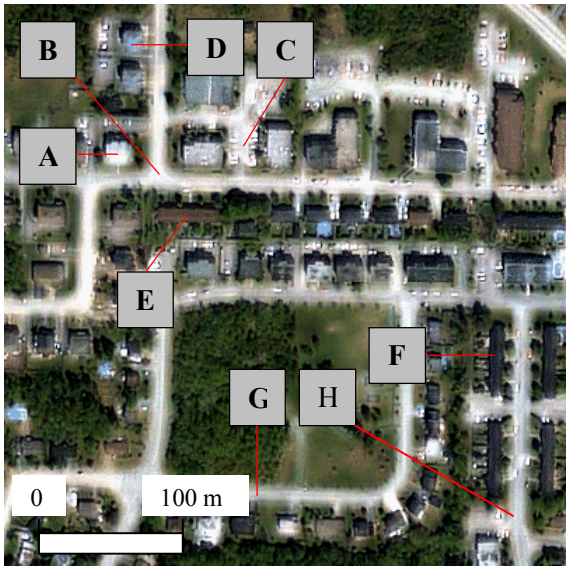


FIGURE 11 Position des pixels de la figure 10. *Pixels location of figure 10.*

La mise en évidence de ces confusions montre l'absence de lien direct entre signatures spectrales et classes d'objets urbains ce qui indique que l'utilisation de la seule dimension spectrale ne sera pas suffisante pour discriminer les différents types d'objets urbains.

4. CONCLUSION

L'objectif de cette recherche était d'estimer la qualité d'une image Ikonos en vue de l'identification du bâti en milieu urbain. Dans une première partie, on a montré de manière théorique l'influence des propriétés de l'image, du relief, du milieu urbain et des conditions de prise de vue. Le rôle de chacun de ces éléments a ensuite été analysé pratiquement à partir d'une image Ikonos.

Il ressort de cette analyse que les conditions de prises de vue influencent fortement la qualité des images ce qui constitue une limite importante pour les utilisateurs. Dans le cas de l'image de Sherbrooke, les conditions étaient favorables et permettent de bons contrastes. La dynamique de l'image est conforme à celle d'autres images présentées dans la littérature. Elle n'occupe pas uniformément toutes les plages de valeur mais permet la distinction des objets très réfléchissants.
L'estimation du niveau de bruit a mis en valeur les effets de la résolution et des longueurs d'onde sur la qualité de l'image. Ainsi, si on se place uniquement au point de vue de la qualité du signal, pour une image Ikonos, les bandes de résolution spatiale plus petite et les courtes longueurs d'onde montreront moins de bruit. Ce type de constat peut être utile dans le cas ou l'utilisateur doit choisir un nombre restreint de bandes. Dans le cas de notre étude, l'analyse du niveau de bruit amène à envisager des pré traitements. Le choix de ces derniers devra cependant être opéré de manière à ne pas diminuer le pouvoir de discrimination de l'image originale relativement à la problématique considérée.

La mise en évidence des confusions des signatures spectrales montre l'influence du milieu urbain sur la qualité du signal et l'absence de relations directes entre occupation et utilisation du sol. Pour la discrimination du bâti, ceci montre la limite de la seule dimension spectrale et nous amène à proposer des méthodes permettant d'intégrer des informations supplémentaires (contextuelles, morphologiques, texturales).

L'estimation de la qualité géométrique a mis en évidence des erreurs inégales provoquées par les variations d'altitude ce qui montre la nécessité d'appliquer des méthodes de correction intégrant les altitudes. L'application de telles méthodes peut cependant diminuer la capacité de discrimination des images. C'est pourquoi nous proposons, dans le cas de notre étude, d'appliquer les corrections géométriques une fois les bâtiments extraits. Les erreurs géométriques et les déformations dues à la hauteur des bâtiments devront également être pris en compte. Pour ce faire nous proposons d'utiliser les ombres afin d'estimer la hauteur des bâtiments et ainsi appliquer les corrections appropriées.

Cette recherche nous a permis d'identifier les sources d'erreurs et de confusion présentes sur une image à très haute résolution spatiale. Elle devrait ainsi permettre de choisir adéquatement les pré-traitements et les méthodes d'interprétation à appliquer dans l'élaboration future d'un processus d'identification du bâti.

Remerciements

Ce projet de recherche a été subventionné par le C.R.N.S.G (Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada). Les auteurs souhaitent remercier le Service de géomatique de la Ville de Sherbrooke pour avoir gracieusement fourni des données ainsi que les réviseurs pour leurs remarques pertinentes. Les auteurs remercient également Claude Collet, de l'Université de Fribourg, pour ses suggestions de corrections.

Références

Baltavias, E., Pateraki, M. and Zhang Li (2001) Radiometric and Geometric Evaluation of Ikonos Geo images and Their Use for 3D Bulding Modelling. Joint ISPRS Workshop "High Resolution Mapping from Space 2001", Hannover, Germany, 19-21 September, 21 p.

Baudot, Y. (1997) L'influence de la résolution effective des données télédétectées sur les possibilités d'analyse des milieux urbains

complexes. *In* Dubois, J.-M., Ozer, A., Boivin, F. et Lavoie, A. (réd.) Télédétection des milieux urbains et périurbains. AUPELF-UREF, Montréal, p. 3-13.

Bonn, F. et Rochon, G. (1992) Précis de télédétection ; volume 1 ; principes et méthodes, Presses de l'Université du Québec et AUPELF, Québec, 485 p.

Gerlach, F. (2000) Characteristics of Space Imaging's One-Meter Resolution Satellite Imagery Product. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 33, Part B1, p. 128-135.

Guindon, B. (2000) A Framework for the Development and Assessment of Object recognition Modules from High-Resolution Satellite Image. International Journal of Remote Sensing, vol. 26, n° 4, p. 334-348.

Jacobsen, K. (2002) Mapping with IKONOS images. Proceedings of 22nd EARSeL Symposium, Prague, 7 p.

Meister, G. (1997) BRDF effects in remotely sensed high resolution images of urban areas. Joint Worshop of ISPRS, September 29-October 2, 9 p.

Meister, G. and Wiemker, R. (1996) In situ BRDF measurement of selected surface materials to improve analysis of remotely sensed multispectral imagery. International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, vol. XXXI, part B, Commission VII, 6 p.

Miesch, C. and Briottet, X. (2002) Bidirectional reflectance of a rough anisotropic surface. International Journal of Remote Sensing, vol. 23, n° 15, p. 3107-3114.

Miesch, C. and Briottet, X. (2000) Radiative transfer solution for rugged and heterogeneous scene observation. Applied Optics, vol. 39, n° 36, p. 6830-6846.

NASA (2003) Aerosol Robottic Net'work. http://aeronet.gsfc.nasa.gov

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.

Toutin, T. (2000) Demystification of IKONOS. Earth Observation Magazine, vol. 9, n° 7, p. 17-21.

Zanoni, V. and Ryan, R. (20002) IKONOS Signal-to-Noise ratio Estimation. High Spatial Resolution Commercial Imagery Workshop, March 25-27, Reston, VA.