

# UTILITE DES IMAGES HAUTE RESOLUTION POUR EVALUER LA PLACE DE LA VEGETATION DANS L'AMENAGEMENT URBAIN

QUELLE RESOLUTION POUR QUELS BESOINS ?

**Anne PUISSANT - Christiane WEBER** : Email : [anne.puissant@lorraine.u-strasbg.fr](mailto:anne.puissant@lorraine.u-strasbg.fr)

Laboratoire Image et Ville UMR 7011, Université Louis Pasteur, STRASBOURG

Email : [christiane.weber@lorraine.u-strasbg.fr](mailto:christiane.weber@lorraine.u-strasbg.fr)

---

*RÉSUMÉ. L'augmentation de la population en Europe et dans le monde entraîne des impacts sur la qualité de notre environnement : la pollution de l'air, du bruit, la congestion du trafic routier préoccupent les individus et spécialement les gestionnaires du territoire. Dans ce cadre, la construction d'indicateurs environnementaux est indispensable pour évaluer les impacts des espaces verts sur les nuisances urbaines. L'article présente les résultats d'une analyse quantitative basée sur l'extraction automatique de classes d'occupation du sol à partir d'images simulées, à différentes résolutions (10 à 1 m), sur l'agglomération de Strasbourg. L'objectif est de définir une typologie orientée "utilisateurs" et de déterminer la résolution spatiale adaptée à l'identification de variables descriptives de la qualité de l'environnement (uniquement en termes d'occupation du sol).*

*ABSTRACT : Urban growth in Europe and in the world have impacts on the quality of our environment : air pollution, traffic congestion, noise concern all people and managers of the territory. In this framework, the built of environment indicators are significant to assess the impacts of green space on adverse effects in urban environment . This article presents a quantitative analysis based on automatic extraction of land cover types from simulated images at different resolutions (10 to 1 m) on the city of Strasbourg (France). The objective is to define an adapted end-users oriented typology and to choice an adapted resolution to identify some descriptive variables of the environment quality.*

*MOTS CLEFS : Espaces verts, Morphologie urbaine, Extraction, Haute résolution spatiale.*

*KEY WORDS: Green space, Urban morphology, Extraction, High spatial resolution.*

---

## 1. Introduction

Les nuisances liées à l'augmentation du bruit, de la pollution de l'air et à la congestion du trafic en milieu urbain tendent à dégrader la qualité du cadre de vie. Cette évolution accompagne la croissance des villes, fortement consommatrices d'espaces. La recherche d'un environnement qui préserve la santé est devenue une préoccupation des citoyens européens de plus en plus sensible à leur qualité de vie. L'exposition réelle des individus et les répercussions à court et à long terme sur leur santé conduisent les aménageurs à s'interroger sur une nouvelle organisation spatiale de la ville limitant les diverses nuisances (IVS, 1999).

Dans ce cadre, les espaces verts ont un rôle potentiel à jouer pour améliorer la qualité de vie des populations (BECKETT *et al.*, 1998 ; NOWAK *et al.*, 2000). Bien qu'il existe peu de recherches sur les bénéfices directs des espaces verts intra et périurbains sur l'absorption des polluants, de nombreux auteurs (MCPHERSON, 1994 ; CIVEROLO, 2000) soulignent l'influence de la végétation pour réduire l'influence des particules polluantes sur la santé. Les nouvelles directives européennes sur la qualité de l'air (AEE, 2001) incitent d'ailleurs la coordination d'actions d'importance dans ce domaine.

Dans ce contexte, le principal objectif du projet européen "Benefits of Urban Green Space (BUGS)" est de proposer une stratégie raisonnée d'utilisation des espaces verts comme outils d'une meilleure gestion de l'espace urbain et périurbain. L'objectif est de modéliser (à l'échelle régionale) et d'évaluer (à l'échelle "micro" de la rue et des arbres) les impacts des espaces verts sur les nuisances urbaines, et de définir des scénarii d'aménagement où la végétation joue le rôle de barrières antibruit et de filtres à la pollution de l'air.

Dans ce cadre, des images satellites couplées à d'autres sources d'informations, seront utilisées pour décrire la réalité physique de la ville (occupation du sol, accessibilité des espaces verts, connectivité des espaces bâtis, températures de surface). Des images Landsat 7 seront utilisées à l'échelle régionale, et des images haute résolution (métrique) seront utilisées à l'échelle locale pour rendre compte de la complexité du milieu urbain.

Dans un premier temps, la qualité de l'environnement urbain sera mesurée par des indicateurs (De KEERSMAEKER, 1989 ; WEBER *et al.*, 1992 ; REGINSTER, 1998), définis à l'échelle intra-urbaine, construits à partir de variables décrivant la qualité de l'environnement. Ces indicateurs seront élaborés à partir de l'association "bâtiments + végétation + voirie", de la forme urbaine et de la nature des matériaux.

Les variables utilisées pour construire ces indicateurs sont de deux types : l'occupation du sol, obtenue à partir de l'image satellite, et l'accessibilité aux infrastructures (espaces verts, autoroutes, gares), mesurée en distance métrique et définie par le réseau de voies d'accès et la nature du système de transport (HANDY, 1997).

La recherche présentée ici intervient en pré-requis au projet BUGS et a pour double objectif :

- de déterminer une typologie de l'occupation du sol adaptée à cette problématique et orientée "utilisateurs" ;
- d'évaluer l'utilité de la télédétection, par la recherche de la résolution spatiale adaptée à la construction des indicateurs de la qualité de l'environnement.

Pour répondre à ces objectifs, des méthodes classiques d'extraction (manuelle et automatique) de l'occupation du sol ont été utilisées.

## 2. Méthodologie et données utilisées

### 2.1. Nécessité d'une typologie de l'occupation du sol adaptée

Le choix des variables liées à l'occupation du sol nécessite la reconnaissance des objets urbains (PAULEIT et DUHME, 2000) et doit tenir compte des besoins des utilisateurs (PUISSANT et WEBER, 2001). Dans cette recherche, l'objectif n'est pas d'identifier avec exhaustivité tous les objets urbains de la ville, mais uniquement ceux utiles à la construction des indicateurs de l'environnement urbain. Ces besoins concernent (Tableau 1) :

1. La végétation urbaine (stratification, abondance, répartition, morphologie) qui régule le climat urbain (BECKETT *et al.*, 1998) et purifie l'air ;
2. Le bâti (morphologie, hauteur), qui influence la propagation de la pollution atmosphérique et acoustique (AEE, 1997 ; WEBER *et al.*, 2001). L'organisation spatiale des bâtiments (entre eux et par rapport à la voirie) permet de distinguer quatre types de tissus urbains. La nature du matériau des toits peut, dans certains cas et selon la connaissance du terrain, fournir une indication de différenciation des types d'habitation. Par exemple à Strasbourg, un toit de tuiles est en général caractéristique d'un bâti pavillonnaire et les toits en gravier ou enrobés sont représentatifs d'un bâti de type "grands ensembles".

3. Les réseaux, ferroviaire et routier (largeur des rues, flux), qui sont la source principale de pollution atmosphérique (IVS, 1999) et de désagréments acoustiques.
4. Les zones industrielles, qui constituent des sources ponctuelles de pollution atmosphérique, acoustique, olfactive, et potentiellement de risques technologiques, selon leur type. Ce type d'objet relatif à une utilisation plutôt qu'à une occupation du sol n'est pas directement identifiable sur l'image mais la taille des bâtiments et leur environnement (parkings, carrières, cours d'eau) sont autant d'indices de reconnaissance.
5. Les espaces minéraux interstitiels (chantiers urbains, parkings, places) représentent également des sources ponctuelles de pollution acoustique et atmosphérique.
6. Les surfaces en eau.

Ainsi, pour certains thèmes, l'identification des objets doit être exhaustive (végétation, bâti) ; pour d'autres, seule l'identification de zones est utile (zones industrielles).

**Tableau 1 : Typologie des objets urbains utiles.**

<i>Thème</i>	<i>Objets</i>	<i>Forme et agencement des objets (entre eux et par rapport à leur environnement)</i>
1. Végétation urbaine	arbre	- arbre isolé - bosquet (amas de quelques arbres) - forêt - alignement d'arbres
	surface herbeuse	- pelouse (de "parc", de "jardin" selon le voisinage proche ou de type "terrain de sport" selon la forme) - espace végétal interstitiel (échangeurs, jardins ouvriers)
2. Bâti	bâtiment	- continu de type "urbain dense" (le plus souvent en front de voirie) - discontinu de type "grands ensembles" - pavillonnaire (fonction de la taille et de l'environnement des bâtiments) - isolé
3. Réseau	route	- autoroute ou route à 4 bandes (et plus) - route à 2 bandes
	voie ferrée	- ligne de chemin de fer - gare de triage
4. Zone industrielle	/	- agencement de bâtiments, parkings, proximité de réseaux
5. Espaces minéraux interstitiels	- parking - place - chantier	
6. Surfaces en eau	- fleuve, rivière, canal - étang, lac	

## 2.2. Méthodologie

Une recherche précédente d'Image Interprétation Assistée par Ordinateur (IIAO), sur des images simulées panchromatiques (P), à diverses résolutions (de 5 m à 1.36 m : PUISSANT et WEBER, 1999), a montré qu'une résolution fine (1.36 m) est nécessaire pour identifier les bâtiments dans une structure "Urbain dense" alors qu'une résolution de 2.5 m à 5 m est suffisante pour identifier les bâtiments d'une structure de type "Grands ensembles". Une résolution de 2.5 m est suffisante pour extraire la végétation urbaine et la voirie, quel que soit le tissu urbain, excepté en "Urbain dense" où une résolution plus fine est recommandée. Néanmoins l'analyse des seules images Panchromatique s'avère insuffisante pour différencier le type et la morphologie de la végétation urbaine. Dans ce cadre, l'apport d'images multispectrales haute résolution a été testé pour la construction d'indicateurs de l'environnement.

Des images multispectrales simulées du futur capteur SPOT 5 (XS à 10 m, P à 5 m, THR à 2.5 m, et P+XS à 2.5 m) et des images pushbrooms d'un vol ARAT à 1.36 m de résolution, ont été exploitées. Pour compléter le jeu de résolution multispectrale, une fusion par corrélation (WEBER *et al.*, 1993) a été réalisée afin d'obtenir une image multispectrale XS à 5 m. La procédure d'intégration, basée sur le coefficient de corrélation, est inspirée des travaux de CLICHE et BONN (1985), WELCH et EHLERS (1987) et CHAVEZ *et al.* (1991).

La valeur du canal panchromatique est intégrée proportionnellement à la corrélation qu'il possède avec le canal XS, selon l'équation suivante :

$$PI_n(x,y) = [(XS_n(x,y) * (1-Coef_n))^2 + Pan(x,y) * (1-Coef_n)^2]^{1/2}$$

où

PI<sub>n</sub> = pixel résultant de l'intégration de XS<sub>n</sub> et du panchromatique

n = numéro du canal

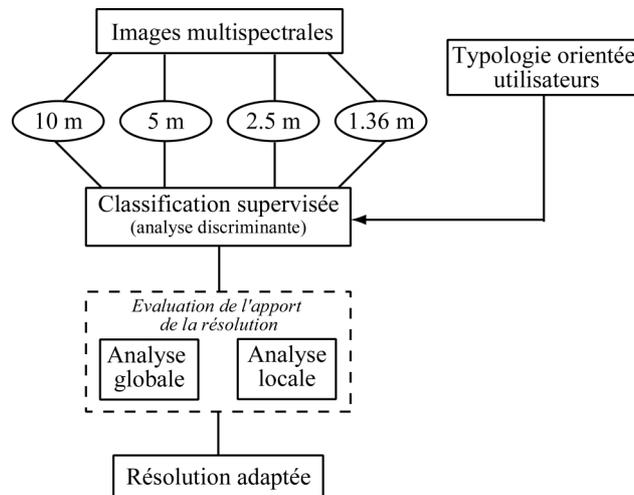
XS<sub>n</sub> = valeur numérique du pixel (x,y) du canal n

Coef<sub>n</sub> = coefficient de corrélation du canal panchromatique avec le canal XS<sub>n</sub>

Une classification supervisée par analyse discriminante pas à pas a été appliquée aux différentes résolutions, avec des échantillons identiques pour les différents traitements. Un filtre modal de 9x9 pixels a été utilisé sur l'image classée à 1.36 m comme filtre post-classification afin d'éliminer les pixels isolés dans les zones homogènes. Le test a été effectué sur les quartiers Est de la ville de Strasbourg, représentatifs de tous les types de tissus urbains, et où sont présents la totalité des objets identifiés comme "utiles" dans le cadre de BUGS.

L'identification de la résolution adaptée s'effectue sur la comparaison des surfaces des objets identifiés par la classification. La couche "Bâtiment" de la BDTopo au 1/25 000<sup>e</sup>, d'une précision métrique, et une carte thématique des espaces verts au 1/15 000<sup>e</sup> (résolution proche de 5 m) ont servi de documents de référence pour la validation des résultats. Une analyse globale (§ 3.1) a été réalisée sur toute la zone de classification, en tenant compte de toutes les surfaces identifiées, aux résolutions de 10, 5 et 2.5 m (473 ha) ; l'objectif étant d'identifier les "tendances générales" d'évolutions des pourcentages de surfaces, en fonction de la résolution. Une analyse locale (§ 3.2) a été réalisée sur des zones restreintes (à l'échelle du type de tissu urbain) afin d'analyser l'influence de la morphologie des objets extraits aux différentes résolutions (Figure 1).

**Figure 1 : Organigramme méthodologique**



### 3. Analyses globale et locale

Les classifications réalisées aux différentes résolutions n'ont pas permis d'identifier toutes les classes utiles (Tableau 2) et une classe "Ombre" a été créée pour réduire les erreurs de classement. Les ombres portées sont détectées à 20 m et c'est à partir de 10 m qu'elles sont identifiées.

Les taux de classement fournis par les matrices de confusion sont en moyenne de plus de 80 % quelle que soit la résolution spatiale (Tableau 2). Ces taux s'expliquent car :

- à 10 m, des zones plutôt que des objets sont détectées (Bâti et Réseau) ou identifiées (Surfaces en eau ou Végétation urbaine) : les taux de classement sont plus élevés pour les objets identifiés (> 90 %), que pour les objets détectés ( $\approx$  70 %) ;
- à 5 m, statistiquement, un meilleur pourcentage de classement a été obtenu, mais qualitativement (visuellement), le résultat, notamment pour l'"Urbain dense" est moins bon (65 %). Ceci s'explique par la perte de qualité radiométrique de l'image issue de la fusion par corrélation ;
- à 2.5 m, des objets sont détectés et identifiés, ce qui permet d'être plus précis lors de l'échantillonnage (97 % et 100 % pour les objets "Pelouse" et "Espace végétal interstitiel"; 98 % pour le thème "Chemin de fer". Le thème le moins bien classé reste le "Bâti" où de larges confusions apparaissent avec les réseaux ("Chemin de fer" et "Route") ;
- à 1.36 m, le taux de classement relativement faible est dû à de nombreuses confusions entre les objets "Eau" et "Ombre", "Grands ensembles", "Urbain dense" et "Chemin de fer". En effet, le gain en résolution spatiale introduit une très grande variabilité des réponses spectrales et ne permet pas d'améliorer l'exactitude des classifications automatiques (COULOMBE *et al.*, 1991 ; DONNAY *et al.*, 2001).

**Tableau 2 : Classes d'occupation du sol identifiées aux différentes résolutions**

<i>Objets de référence</i>	<i>10 m</i>	<i>5 m</i>	<i>2.5 m</i>	<i>1.36 m</i>
Arbres	x	x	x	x
Pelouses	x	x	x	x
Espaces végétaux interstitiels		x	x	x
Urbain dense	x	x	x	x
Grands ensembles	x	x	x	x
Route	x	x	x	x
Chemin de fer			x	x
Espaces minéraux interstitiels	x	x	x	x
Eau	x	x	x	x
Ombre	x	x	x	x
<i>Taux de pixels bien classés</i>	<i>8 classes</i> 85 %	<i>9 classes</i> 89 %	<i>10 classes</i> 86 %	<i>10 classes</i> 80 %

#### 3.1. Analyse "globale"

Globalement, l'analyse des résultats (Figure 2) permet de différencier 3 groupes d'objets :

1. Les objets pour lesquels une plus grande résolution ne permet pas d'identifier un pourcentage de surfaces significativement différents ("Eau", "Espace minéral interstitiel", "Pelouse" et "Urbain dense"). Une résolution de 10 m suffit donc à identifier ces surfaces spécifiques et une meilleure résolution permet seulement de préciser les contours et la forme des objets (géométrie) ;

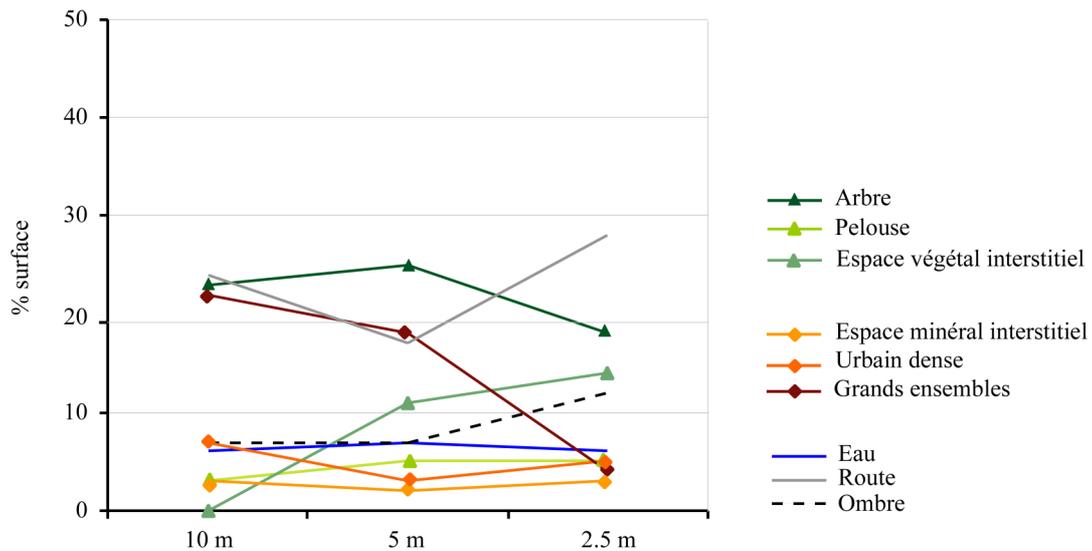
2. les objets dont le pourcentage de surfaces identifiées est significativement plus important avec l'amélioration de la résolution ("Route", "Espace végétal interstitiel", "Ombre"). Cette augmentation correspond à une meilleure identification des "surfaces végétales interstitielles" qui sont détectées à 5 m et identifiées à 2.5 m. Par contre, elle ne signifie pas toujours une meilleure identification des objets : la "Route" est ainsi largement surestimée à 10 et à 2.5 m. Cette surestimation est due, à 10 m, à une confusion avec le "Chemin de fer" et à 2.5 m, à des confusions avec les "Grands ensembles". L'"Ombre" est une classe spécifique dont l'augmentation met en évidence le problème majeur des images haute résolution ;

3. les objets pour lesquels l'amélioration de la résolution entraîne une diminution des surfaces identifiées ("Arbre" et "Grands ensembles"). Cette diminution de surfaces correspond à une identification plus précise de la

forme des objets. Par exemple, si à 10 m, une surface correspondant à un parc est classée en "Arbres", à 2.5 m, la forme circulaire des arbres, les pelouses et les espaces interstitiels, minéraux ou végétaux, sont différenciés. Ceci explique la diminution des surfaces "Arbres" et l'augmentation des "surfaces végétales interstitielles". Par contre, pour les "Grands ensembles", cette diminution ne correspond pas seulement à une précision accrue sur l'identification des formes car de nombreuses confusions existent avec les objets "Routes".

Les surfaces des espaces verts urbains issues d'une carte thématique des (forêt, parc, espace vert, aménagement sportif et jardin familial) d'une résolution proche de 5 m (1/15 000<sup>e</sup>), ont été comparées aux surfaces de "Végétation urbaine" extraites de l'image à 5 m. Les résultats indiquent que la végétation urbaine extraite de l'image à 5 m est surestimée par rapport aux surfaces de référence car des zones plutôt que des objets y sont représentés : les alignement d'arbres, les espaces verts privés, les arbres ponctuels n'étant pas détaillés.

**Figure 2 : Pourcentages de surfaces identifiées à différentes résolutions**



### 3.2. Analyse locale

L'utilité d'une meilleure résolution spatiale pour extraire les objets urbains a ensuite été testée sur divers types de tissus urbains, à toutes les résolutions (10, 5, 2.5 et 1.36 m).

Deux quartiers ont été choisis en fonction de leur morphologie :

- le quartier "Observatoire" : caractéristique d'un tissu "Urbain dense" (Figure 3) ;
- le quartier "Citadelle" : parc urbain jouxtant des grands ensembles (Figure 4).

Un troisième type de quartier (tissu pavillonnaire), non représenté à 10, 5 et 2.5 m, a été analysé sur l'image à 1.36 m, afin de compléter l'analyse du thème "Bâti".

Les objets relatifs à la végétation urbaine ont été comparés avec la carte thématique des espaces verts et les objets relatifs aux bâtiments ("Urbain dense", Grands ensembles") à la BD Topo©IGN. Les autres objets définis comme utiles, n'ont pas été analysés quantitativement, par manque de documents de référence (réseau). Une analyse qualitative a cependant été réalisée sur ces objets (Figure 5).

Figure 3 : Objets extraits à 10, 5, 2.5 et 1.36 m, sur le quartier "Observatoire"

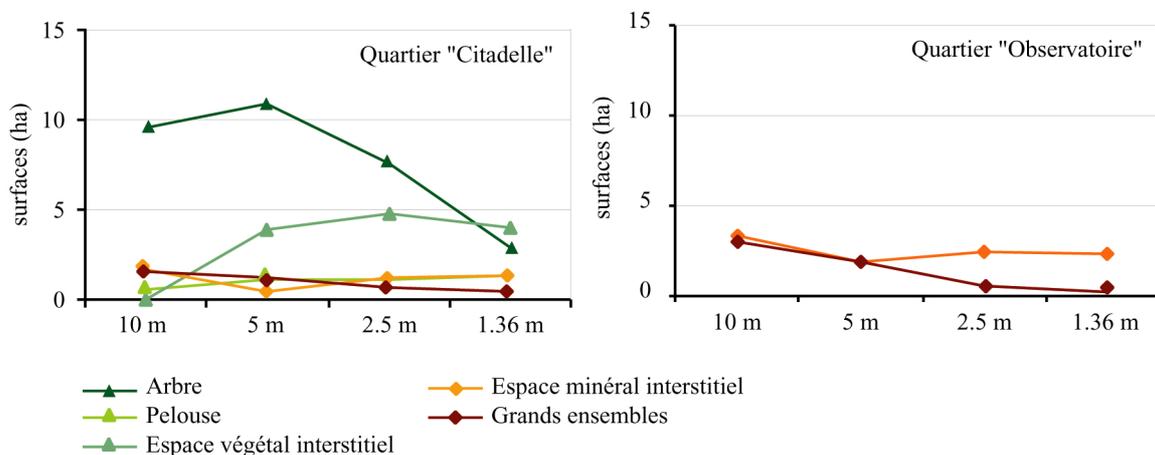
L'analyse des pourcentages de surfaces classées montrent que (Figure 4) :

- en tissu "Urbain dense" (Quartier "Observatoire"), l'amélioration de la résolution entraîne une identification plus précise de la forme des bâtiments (tendance identique à l'analyse globale). Les surfaces bâties ("Urbain dense" et "Grands ensembles" confondus) restent sous-estimées par rapport aux surfaces de la BD Topo©IGN. Une résolution métrique (1.36 m) permet d'identifier 80 % des surfaces bâties, alors qu'elle n'atteint que 70 % à 2.5 m. A 5 et 10 m, ces surfaces sont surestimées.

- en tissu "Grands ensembles" (Quartier "Citadelle"), l'amélioration de la résolution met en évidence les mêmes tendances que l'analyse globale pour les objets "Arbre", "Pelouse", "Espace végétal et minéral interstitiel", avec une identification plus précise de la forme des arbres et de leurs environnements (Fig. 4). Seule la résolution métrique permet d'individualiser la circonférence des arbres.

L'identification des "Grands ensembles" est globalement identique à toutes les résolutions et atteint 85 % pour une résolution métrique. Les bâtiments, confondus avec les objets "Routes" à 2.5 m, deviennent individualisables sur des images à 1.36 m. Les résolutions supérieures tendent à surestimer les surfaces de "Grands ensembles" : 18 % à 2.5 m et plus du double à 5 et 10 m.

Figure 4 : Pourcentages de surfaces identifiées dans les quartiers "Citadelle" et "Observatoire"



La comparaison des surfaces bâties de type "Bâti pavillonnaire" extraites à 1.36 m avec les surfaces de la BD Topo©IGN confirme l'utilité d'une résolution métrique pour l'identification des bâtiments. En effet, 97 % des bâtiments issus d'un échantillon de "Bâti pavillonnaire" ont été identifiés (en tenant compte du reclassement des confusions avec la classe "chemin de fer").

D'autres objets définis comme utiles, ont été analysés qualitativement, d'après les critères d'identification classiquement utilisés en photo-interprétation. Trois types d'objets ont été identifiés (Figure 5) :

- les parkings, avec une structure parallèle et une texture tachetées (voitures).
- les alignements d'arbres, caractérisés pour une structure linéaire
- les routes (autoroutes et leurs échangeurs, par exemple).

Ces observations confirment l'utilité d'une résolution métrique pour identifier la morphologie des objets, leurs agencements et pour passer de l'occupation du sol à l'utilisation du sol.

**Figure 5 : Exemple d'objets identifiés à 1.36 m**

#### 4. Conclusions et perspectives

Avec une plus fine résolution spatiale, un objet détecté à 10 m, est identifié de 5 à 2.5 m, et peut être analysé à une résolution métrique ou sub-métrique. Pour construire des indicateurs de la qualité de l'environnement, l'analyse de la morphologie de la végétation urbaine et du bâti paraît indispensable. Les résultats menés à une échelle globale et locale ont montré qu'une résolution métrique permet d'identifier ces thèmes même si de nombreuses confusions subsistent. Plus précisément, l'apport de la résolution apparaît essentiellement pour les thèmes de la végétation urbaine et des bâtiments. En effet, la circonférence des arbres est différenciée de l'espace environnant (pelouses, surfaces minérales ou végétales interstitielles), et la forme des bâtiments, leur agencement permettent une analyse de la morphologie du bâti.

Pour la suite de BUGS, des images métriques sont recommandées, en particulier, pour l'analyse de la morphologie de la végétation. Pour les objets "Bâtiment" et "Route" et leur agencement, une résolution supérieure pourrait suffire (2.5 m).

Le taux de classements de certains thèmes pourrait être amélioré par l'intégration d'information texturale et structurale (forme des objets). En effet, nos résultats confirment qu'un gain de résolution spatiale n'améliore pas le taux de classement des classifications automatiques. Une résolution de 1 m introduit aussi plus de bruit (variabilité interne donnant une grande hétérogénéité dans l'image) qu'une résolution de 5 à 10 m. Différents indicateurs de textures avec des fenêtres d'analyses de tailles diverses (3x3, 5x5, 7x7, 9x9 ou 13x13) pourraient être testés.

De plus, les résultats ont mis en évidence l'apparition et l'augmentation des ombres portées de bâtiments avec l'amélioration de la résolution spatiale. Celles-ci constituent une gêne pour les traitements automatiques car elles masquent certaines zones et ont une réponse spectrale proche de l'eau stagnante. Cependant, elles peuvent être une source d'informations sur la hauteur des bâtiments.

## Bibliographie

- AGENCE EUROPEENNE DE L'ENVIRONNEMENT (AEE) 1997, La Pollution atmosphérique en Europe en 1997, Rapport d'étude, Copenhague, p.15.
- AGENCE EUROPEENNE DE L'ENVIRONNEMENT (AEE) 2001, Environnement 2010 : notre avenir, notre choix, 6ème programme communautaire d'action pour l'environnement, Commission Européenne.
- BECKETT K.P., FREER-SMITH P.H., TAYLOR G. 1998, Urban woodlands : their role in reducing the effects of particulate pollution, *Environmental Pollution*, p. 347-360.
- CIVEROLO K.L., SISTLA G., RAO S.T., NOWAK D.J. 2000, The effects of land use in meteorological modelling : implications for assessment of future air quality scenarios, *Atmospheric Environment*, vol. 34, p. 1615-1621.
- CHAVEZ P.S., SIDES S.C. and ANDERSON J.A. 1991, Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data : Landsat TM and SPOT Panchromatic, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 57, n°3, pp. 295-303.
- CLICHE C. and BONN F. 1985, Integration of SPOT Panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 51, n°3, pp. 313-316.
- COULOMBE A., CHARBONNEAU L., BROCHU R., MORIN D. 1991, L'apport de l'analyse texturale dans la définition de l'utilisation du sol en milieu urbain, *Journal Canadien de télédétection*, Vol. 17, n°1, p. 46-55.
- DE KEERSMAECKER M.L. 1989, Potentialités de la télédétection satellitaire pour l'étude de la structure interne des villes. Application au cas de Bruxelles , Thèse de doctorat, non-publiée, Laboratoire de télédétection de l'UCL, Louvain-La-Neuve, 479 p.
- DONNAY J.P., BARRNSLEY M.J. and LONGLEY P.A. 2001, *Remote sensing and urban analysis*, in *Remote Sensing and Urban Area*, GISDATA 9, Chapitre 1, Taylor and Francis, p. 3-18.
- HAALA N. and BRENNER C. 1997, Extraction of buildings and trees in urban environments, *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 54 , p. 130-137.
- HANDY N. 1997, Measuring accessibility : an exploration issues and alternatives, *Environment and Planning*, p. 1176-1194.
- INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE (IVS) 1999, Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain, Synthèse d'une étude, Paris, p. 20.
- MC PH E.G. 1994, Energy-saving potential of trees in Chicago, Results of the Chicago Urban Forest Climate Project, NE-186, Radnor, pp. 95-113.
- NOWAK D.J., CIVEROLO K.L., RAO S.T., SISTLA G., LULEY C.J., CRANE D.E. 2000, A modelling study of the impact of urban trees ozone, *Atmospheric Environment*, vol. 34, p. 1601-1613.
- PAULEIT S., DUHME F. 2000, Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning, *Landscape and urban Planning*, vol. 52, p. 1-20.
- PUISSANT A. et WEBER C. 1999, Les potentialités des images à très haute résolution spatiale pour la reconnaissance des composantes urbaines, Actes des journées sur la THRS, Cémagref, Montpellier, 13 p.
- PUISSANT A. and WEBER C. 2001, *The use of image in Geographical Information Market : results of an inquiry on the needs of end-users in urban studies*, 7<sup>th</sup> EC-GI & GIS WORKSHOP, EGII – Managing the Mosaic, Potsdam, 13-15 June 2001, 18 p.
- REGINSTER I. 1998, Qualité de l'environnement urbain et choix de localisation résidentielle : construction d'une méthodologie et analyses, Thèse de doctorat, Laboratoire de Télédétection et d'Analyse Régionale, Louvain-La-Neuve, 181 p.
- WEBER C. and HIRSCH J. 1992, Some urban measurements from SPOT data : urban life quality indices, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 13, n°17, p. 3251-3261.
- WEBER C., HIRSCH J. et SERRADJ A. 1993, Cartographie d'une forêt spécifique à partir de données satellitaires TM de Landsat et HRV de SPOT : la forêt alluviale de la Robertsau, *Télédétection et cartographie*, AUPELF-UREF, p. 173-282.
- WEBER C., HIRSCH J., SCHNELL L., PERRON G., KLEINPETER J., RANCHIN T. 2001, Urban fabric and measures of variability : neighborhood effects on proximity pollution, 12th World Clean Air & Environment Congress and Exhibition, Seoul, 6 p.
- WELCH R. and EHLERS M. 1987, Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 53, n°3, p. 301-303.