

## Télédétection et photogrammétrie, chaînons dans la détermination du climat urbain à Strasbourg

■ Tania LANDES - Pierre GRUSSENMEYER - Georges NAJJAR

*La télédétection spatiale et la photogrammétrie tendent, depuis ces dernières années, à devenir complémentaires et proches tant du point de vue des technologies de capteurs, que du point de vue des traitements géométriques visant à la mesure dans l'image. L'emploi complémentaire des deux techniques se reflète dans des projets tels que le projet RECIUS 3 (Rayonnement et bilan d'Énergie en Climatologie Urbaine à Strasbourg) initié par le LSIIT.*

*Ce projet a pour objectif de modéliser les bilans radiatifs et énergétiques sur la base de données micro-météorologiques, atmosphériques et d'imagerie observées et captées en zone urbaine de Strasbourg. La campagne de mesures sera évoquée avant d'aborder l'intérêt de techniques de photogrammétrie et de télédétection dans un tel projet. Nous développerons plus particulièrement les premiers résultats obtenus par l'utilisation de deux méthodes de classifications visant à fournir une cartographie d'occupation des sols à partir d'images à très hautes résolutions spatiale et spectrale.*

### ■ mots clés

télédétection, photogrammétrie, modèles numériques d'élévation, climatologie urbaine, capteurs très haute résolution.

### Contexte du projet RECIUS 3

Le projet RECIUS 3 (Rayonnement et bilan d'Énergie en Climatologie Urbaine à Strasbourg) initié par le LSIIT et financé par le Programme National de Télédétection Spatiale a pour objectif l'analyse et l'exploitation de mesures de télédétection pour la modélisation des bilans radiatifs et énergétiques dans les zones urbaines [Najjar et al., 2003].

Les préoccupations sous-jacentes consistent, notamment, dans un contexte d'urbanisation croissante souvent à forte densité de bâti, en la détermination des paramètres du climat urbain et en l'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air, dans un souci de maîtrise des effets de pollution atmosphérique.

Le but est de déterminer à l'échelle de la rue "canyon urbain" puis du quartier, les flux majeurs intervenant dans l'équation du bilan radiatif (1) et du bilan d'énergie (2), d'étudier les différences notables en milieu urbain par rapport à la situation rencontrée en

environnement naturel et enfin de valider la paramétrisation à différentes échelles. Cette paramétrisation est réalisée par le biais de deux modèles existants (cf. § *Modélisations envisagées*), dont les résultats en sortie seront validés par les mesures au sol et les données de télédétection.

Le bilan radiatif  $R_n$  s'écrit :

$$R_n = (1 - \alpha) R_G - (IR \uparrow - IR \downarrow) \quad (1)$$

avec

$R_G$  : rayonnement global incident

$\alpha$  : albédo défini comme étant le rapport du rayonnement solaire réfléchi sur le rayonnement global incident

$IR \uparrow$  : rayonnement infrarouge émis

$IR \downarrow$  : rayonnement infrarouge incident

Le bilan d'énergie s'écrit :

$$R_n + H + LE + S = 0 \quad (2)$$

avec

$H$  : flux de chaleur sensible

$LE$  : flux de chaleur latente

$S$  : flux de chaleur dans le sol

La zone d'étude choisie est la zone urbaine de Strasbourg en raison de l'existence d'une base de données très consé-

quente en données micro-météorologiques, atmosphériques et d'imagerie.

### ■ Base de données disponible

Pour constituer cette base de données, une importante campagne de mesures a été réalisée en juillet 2002 dans le cadre du projet RECIUS 2. Elle comprend :

#### • des données micro-météorologiques :

Elles ont été effectuées

- à l'échelle du canyon urbain : mesure sur 4 niveaux d'un échafaudage de 25 m (Figures 1 et 2) de paramètres climatologiques standards (température de l'air, humidité, vent), de bilans radiatifs (dans le visible et l'infrarouge) et d'énergie (chaleur sensible et latente), etc.

- à l'échelle du quartier : mesure sur des mâts, à 30 m au dessus du sol, de bilans d'énergie, d'un bilan radiatif complet ainsi que du flux de chaleur sensible (Figure 3) ; et mesures mobiles, le long des transects d'étude, de température et d'humidité à partir d'un véhicule muni d'un GPS.



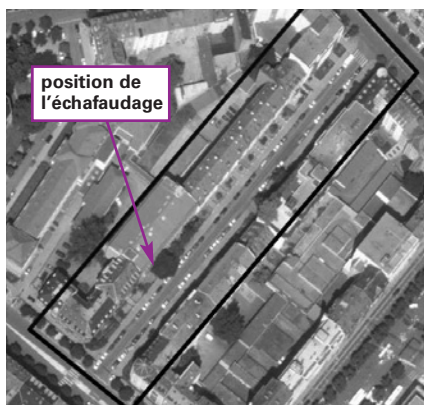
▲ **Figure 1 :** Echafaudage mis en place rue de l'Argonne (Strasbourg).



▲ **Figure 2 :** Appareils de mesures installés sur l'échafaudage de la rue de l'Argonne.



**Figure 3 :** Instruments de mesure installés au sommet d'un mât de 30 m.



**Figure 4 :** Rue de l'Argonne à Strasbourg, sélectionnée comme "canyon urbain". Photo aérienne au 1/8000, plein Nord.

rentes composantes. La résolution des équations des bilans radiatifs et énergétiques des éléments considérés permet en outre d'accéder à leur température de surface et aux flux de chaleur sensible. A l'échelle du canyon, la validation des sorties de SOLENE se fait en comparant celles-ci aux mesures locales directes (composantes du rayonnement net, mesures distribuées de la température de surface, valeurs du flux de chaleur sensible).

A l'échelle du "quartier" les comparaisons se font avec les mesures directes des composantes du bilan radiatif et les flux de chaleur sensible réalisées au sommet des mâts.

Le modèle TEB/ISBA, construit selon le concept du canyon urbain, est mieux adapté à l'échelle du "quartier" de part les simplifications qui lui ont été appor-

■ **des données atmosphériques :** 11 radiosondages pendant les jours de vols servent à effectuer les corrections atmosphériques des images obtenues. Les 5 paramètres mesurés par radiosondage sont la pression, la température, l'humidité, la vitesse et la direction du vent.

■ **des données de téledétection :** 6 images acquises le long de deux traces perpendiculaires de 10 km le 27 et le 28 juillet 2002 durant 3 vols réalisés par le capteur aéroporté hyperspectral DAIS (DLR) couvrant le domaine du visible à l'infrarouge thermique. De plus, des mesures ont été effectuées à l'aide d'une caméra infrarouge thermique (INFRAMETRICS, INRA Bordeaux) héliportée, et d'une caméra infrarouge thermique (AGA, LSIIT) au sol.

Des mesures complémentaires, réalisées avec un spectroradiomètre GER travaillant dans le domaine solaire et des radiomètres infrarouges thermiques, ont servi de mesures de référence et ont permis de valider les données DAIS corrigées de l'atmosphère.

A l'échelle du "canyon urbain", une rue de Strasbourg a été sélectionnée et équipée des dispositifs décrits précédemment (Figure 4). A l'échelle du "quartier", le secteur situé dans les environs de cette rue a été considéré.

## ■ Modélisations envisagées

Deux modèles atmosphériques bien adaptés à l'environnement urbain sont utilisés : le modèle SOLENE du CERMA de Nantes (à l'échelle du canyon) et un schéma de paramétrisation de la surface TEB-ISBA de Météo-France (à l'échelle du quartier).

Le modèle SOLENE permet de prendre en considération la géométrie du système, la réflectivité et l'émissivité des différents éléments et leurs inter-réflexions. Il permet ainsi d'évaluer la fraction utile du rayonnement (solaire et infrarouge) en modulant les diffé-

tées. Dans le but d'évaluer sa sensibilité, il sera validé dans un premier temps à l'échelle du canyon. La validation à l'échelle du quartier se fera par comparaison avec les mesures et les sorties intégrées de SOLENE.

L'utilisation de ces deux modèles nécessite, en entrée, la connaissance d'un Modèle Numérique d'Élévation (MNE) de la zone d'étude. A ce stade, l'emploi de techniques photogrammétriques est nécessaire (cf. § Volet photogrammétrique). Les données de télédétection, quant à elles sont exploitées pour la restitution de divers paramètres, la réalisation d'une carte d'occupation des sols (étant donné que l'occupation des sols contribue au bilan radiatif et à la dynamique des flux), et pour l'extrapolation des résultats issus des modèles utilisés à l'échelle du canyon urbain à l'échelle de l'agglomération (cf. § Volet télédétection).

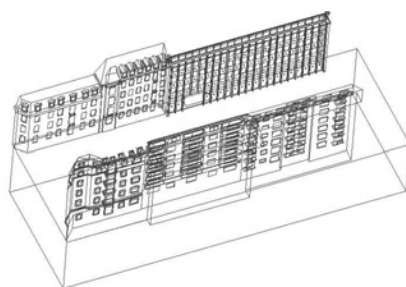
## Volet photogrammétrique

L'utilisation des deux modèles SOLENE (CERMA de Nantes) et TEB-ISBA (Météo-France) nécessite, en entrée, la connaissance d'un Modèle Numérique d'Élévation (MNE) de la zone d'étude. Ces MNE sont réalisés par voie photogrammétrique.

L'équipe PAGE est chargée de fournir un modèle tridimensionnel de la ville de Strasbourg. A partir de prises de vues aériennes à l'échelle 1/8 000, la volumétrie urbaine est modélisée par stéréo-restitution en prenant en compte trois niveaux d'information (géométrique, topologique et sémantique). La Figure 5 présente le résultat de la restitution des façades des bâtiments de la rue de l'Argonne.

Depuis 1999, un module spécifique du logiciel de photogrammétrique TIPHON (INSA de Strasbourg) a permis d'entreprendre la saisie des paramètres géométriques nécessaires à TEB (hauteur de la canopée, densité du bâti, rapport entre surface de façade et surface au sol du bâti, rapport d'encaissement). Les calculs de rugosité géométrique et aérodynamique ainsi que les facteurs de visibilité découlent de la restitution de la volumétrie des bâtiments regroupés par zones homogènes [Al Khalil, 1999].

D'autre part, la rue dans laquelle ont eu



**Figure 5 : Modèle filaire issu de la restitution des façades de la rue de l'Argonne (Strasbourg).**

lieu les mesures climatologiques a été modélisée sur la base de prises de vues terrestres par des procédés de photogrammétrique architecturale multi-image et de photo-modélisation [Grussenmeyer, 2003]. Les modèles volumétriques obtenus sont ensuite transformés dans un format spécifique (CIR) au logiciel SOLENE. La Figure 6 présente la volumétrie des bâtiments de la rue de l'Argonne telle qu'elle est intégrée dans le modèle SOLENE.

## Volet télédétection

Les données de télédétection sont utiles dans plusieurs étapes du projet.

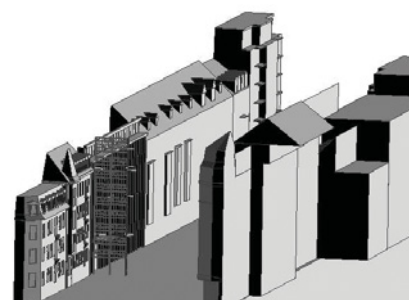
### ■ Extraction de paramètres géophysiques

Les images DAIS sont dans un premier temps corrigées des perturbations atmosphériques en utilisant un code de transfert radiatif (MODTRAN 4) avec en entrée les données atmosphériques issues des radiosondages.

Différents types d'algorithmes développés par l'équipe du LSIIT/TRIO ont permis de réaliser la restitution de l'albédo solaire ainsi que la détermination de l'émissivité et de la température de surface. Le code COCHISE développé par l'ONERA permet d'obtenir les réflectances sols, mais aussi l'estimation du contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère et sa variabilité spatiale dans l'atmosphère urbaine.

### ■ Confrontation avec les mesures directes

Il s'agit de comparer les mesures de télédétection ramenées au niveau de la surface aux mesures effectuées au sol (termes du bilan radiatif et mesures de flux), dans une optique de validation des données de télédétection. Par exemple,



**Figure 6 : Modèle volumétrique des bâtiments de la rue de l'Argonne (Strasbourg).**

les mesures réalisées avec des radiomètres IRT sur plans d'eau seront comparées à celles des images issues de DAIS ou de la caméra héliportée.

### ■ Outil de spatialisation d'informations ponctuelles

Par l'information spatialisée inhérente aux données de télédétection, celles-ci interviennent pour valider les résultats en sortie des modèles utilisés, étudier la variabilité spatiale des paramètres géophysiques et pour étendre les résultats (obtenus à l'échelle du canyon urbain et du quartier) à l'échelle de l'agglomération.

### ■ Détermination de l'occupation du sol

L'occupation du sol contribuant au bilan radiatif et à la dynamique des flux, une cartographie précise de l'occupation des sols à l'échelle de l'agglomération est indispensable et est abordée dans le paragraphe suivant selon deux approches.

## Cartographie d'occupation des sols

### ■ Données disponibles

Les images disponibles dans ce projet sont des données hyperspectrales DAIS (Digital Airborne Imaging Spectrometer), capteur aéroporté mis au point par le DLR (Oberpfaffenhoffen).

Les images DAIS ont été acquises à une altitude d'environ 2000 mètres conduisant à une résolution spatiale de l'ordre de 4 mètres, pour une fauchée de 1 km environ. Les survols de Strasbourg ont été effectués le 27/28 juillet 2002 en matinée, début d'après-midi et fin d'après-midi. Chaque survol consiste en deux lignes de vol perpendiculaires orientées N-S et O-E d'une longueur de près de 10 km et dont l'intersection couvre une partie substantielle de



■ ■ ■ Strasbourg intra muros. Ces vols ont été financés dans le cadre du programme HySENS de la communauté européenne.

Des images du satellite Quickbird (DigitalGlobe) multispectrales et panchromatiques, acquises au départ à d'autres fins que celles du projet, sont également considérées dans cette étude. Le satellite Quickbird est à l'heure actuelle le satellite fournissant la plus fine résolution spatiale parmi les satellites commerciaux existants.

Les caractéristiques techniques des deux capteurs sont présentées dans le Tableau 1.

Préalablement à toute analyse spectrale, il est toutefois nécessaire de réaliser des pré-traitements de type géométrique et/ou radiométrique.

## ■ Pré-traitements

### Géoréférencement

Etant donné l'excellente résolution spatiale de l'image Quickbird panchromatique, elle a été choisie comme image de référence pour le calage ultérieur des images DAIS.

En raison du manque d'informations concernant les paramètres d'attitude du satellite au moment de l'acquisition des images Quickbird et du relief de la zone d'étude que l'on peut considérer comme plat à l'échelle du quartier, la scène Quickbird a été géoréférencée sur la base d'un ensemble de points de calage. Ces points de calage, distribués sur l'ensemble de la scène avec une densité plus importante sur le quartier instrumenté, ont été observés par GPS et complétés par mesures stéréoscopiques sur photos aériennes. Au total

15 points ont été observés et ont permis de calculer par transformation polynomiale du second ordre l'image géoréférencée dans le système Lambert Zone I, avec des erreurs moyennes quadratiques sur la position des points inférieures au pixel.

Le résultat issu du calage des images DAIS par saisie de points homologues sur la scène Quickbird a souligné la nécessité de prendre en compte les turbulences subies par l'avion, donc de disposer des données DGPS et des paramètres d'attitudes du capteur afin de déterminer la fonction géométrique liant le capteur à la cible au moment de l'acquisition.

Néanmoins, une rectification géométrique fine de ces données DAIS n'a pas été jugée indispensable à ce stade. En raison des objectifs prioritaires d'extraction de paramètres géophysiques et de confrontation des données de télédétection avec les mesures directes, il est important, dans cette première phase, de conserver l'information radiométrique brute.

La réalisation de l'ortho-rectification des images DAIS pourra donc faire l'objet d'un travail de fin d'études.

### Réduction de la dimension spectrale

Après soustraction des bandes bruitées, les quelques 70 bandes spectrales restantes constituent un espace spectral trop important à gérer, tant d'un point de vue temps de calcul que susciterait un traitement ultérieur, que d'un point de vue quantité d'informations redondantes.

Au vu de la corrélation existant entre bandes adjacentes, il a été décidé de

réduire l'espace de stockage en minimisant la perte d'information. Parmi les méthodes existantes et qui ont fait leur preuve sur des images hyperspectrales ([Lennon, 2001], [Scherf, 2003], etc.) celle de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été appliquée à notre jeu de données DAIS.

Les vecteurs propres de la matrice de covariance ont montré une très forte participation des bandes situées dans le moyen infrarouge au détriment des autres. De plus, étant donné une forte corrélation entre les bandes d'un même domaine de longueurs d'ondes, et suite à plusieurs expérimentations, les premières composantes principales ont été conservées et ont constitué la base de données pour la classification.

Les images DAIS ont ensuite été classifiées suivant deux approches : une approche conventionnelle et une approche orientée-objet.

## ■ Classification conventionnelle

La première approche est une technique classique ayant fait ses preuves en imagerie satellitaire à moyenne résolution à savoir la classification dirigée suivant le principe du maximum de vraisemblance.

Afin de réduire la présence de pixels isolés dans les différentes classes, un filtre de généralisation spatiale a accompagné cette classification.

### Choix des classes d'objets

Les zones échantillons ont été sélectionnées à partir de l'image Quickbird et de photos aériennes, avant d'être contrôlées et validées par une reconnaissance terrain réalisée durant l'été 2003.

Les classes ont été établies dans un premier temps sur la base de celles employées pour la classification d'occupation du sol réalisée pour le projet REKLIP 1992 [Najjar & Biron, 2004]. Le tableau 2 présente les classes considérées pour notre projet, mises en parallèle avec celles établies pour REKLIP92.

Etant donnée la différence de résolution spatiale des capteurs employés dans les deux projets, il a été possible de discriminer des classes pour RECIUS3 qui n'intervenaient pas dans REKLIP92 ces dernières découlant essentiellement

Capteur	Résolution spatiale	Bandes spectrales
<b>DAIS 7915</b> (aéroporté)	hyperspectral : 3 à 20 m (suivant l'altitude de vol)	79 bandes étroites entre 496 et 12296 nm
<b>Quickbird</b> (satellitaire)	panchromatique : 0.61 m (nadir)	450 à 900 nm
	multispectral : 2.44 m (nadir)	450-520 nm 520-600 nm 630-690 nm 760-900 nm

**Tableau 1 : Caractéristiques techniques des capteurs pris en compte dans le projet.**

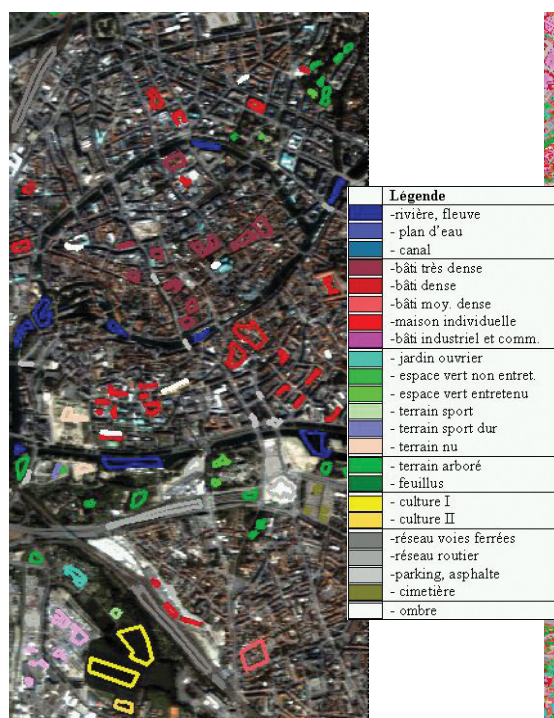
d'images LANDSAT-TM. On peut citer notamment les classes "réseau routier", "parking", "bâtisse individuelle", etc. D'autres classes, telles que "verger sur prairie" pour REKLIP92 peuvent être dissociées en "terrain arboré" et "arbres isolés".

Les classes doivent bien entendu avoir un sens pour l'objectif fixé mais doivent aussi mettre en évidence les possibilités offertes par la résolution des images employées.

### Résultats et commentaires

Dès les premiers traitements, il s'est avéré que tous les pixels situés dans les zones d'ombre, quelle que soit leur nature, ont été regroupés dans une même sous-classe, affectée elle-même à la classe "eau". Il a donc été nécessaire de considérer une classe "ombre" distincte des classes effectivement concernées dans la réalité [Bianchin & Barvin, 2003]. La présence de l'ombre est en effet très nette sur les images captées l'après-midi.

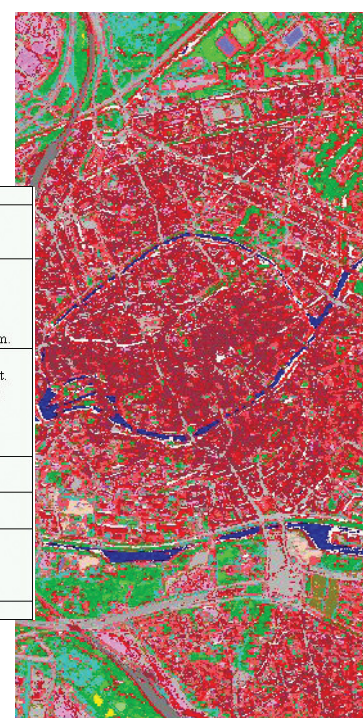
La matrice de confusion calculée pour la classification finale a fourni une précision globale de 86 % et un coefficient Kappa de 0.85, ce qui est satisfaisant vue la zone d'étude. La Figure 7 présente un extrait du transect N-S sur lequel ont été saisies les zones échan-



**Figure 7 : Image DAIS en couleurs réelles RGB=11/5/1, avec zones échantillons saisies (transect N-S).**

tillons. La Figure 8 présente la classification résultante.

Il était prévisible que la classe "cimetière" provoque des conflits avec d'autres classes telles que "parkings" ou "jardins ouvriers" ; de même la classe



**Figure 8 : Classification dirigée par maximum de vraisemblance avec 24 classes d'intérêt.**

"jardin ouvrier" présente des confusions avec la classe "arbres isolés" ou "bâti moyennement dense". Il n'a été possible de remédier que partiellement à ce problème pour deux raisons.

La première raison est liée à la définition sémantique des classes. Par exemple, quelle limite sépare le bâti dense du bâti moyennement dense ou peu dense ? La seconde raison est liée au fait que la classification dirigée est basée sur l'hypothèse que chaque classe saisie a une signature spectrale unique. Donc les taux de confusions entre classes sont parfois si élevés qu'il est nécessaire de définir de nouvelles classes thématiques, plus générales que les premières [Caloz & Collet, 2001].

Une catégorisation en classes thématiques plus générales n'est pas souhaitée pour le moment étant donné que l'extraction de certains paramètres géométriques (contours ou toits de bâtiments par exemple) seront d'un grand intérêt dans un futur proche.

La présence de pixels (et mixels) isolés reste le facteur le plus pénalisant dans ce résultat et souligne que les processus d'analyses d'images basés sur le seul critère de la ressemblance

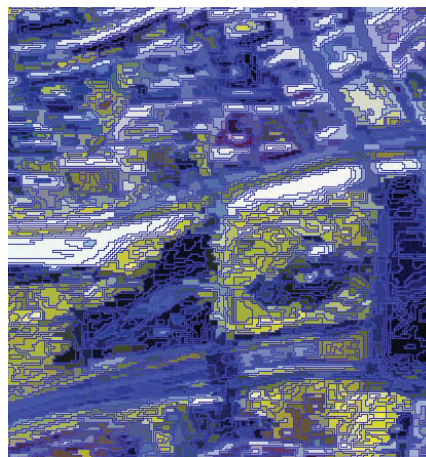
Classes REKLIP 92	Classes RECIUS 3
eau	rivière, fleuve - plans d'eau - canal
bâti dense bâti moyen dense bâti lâche bâti industriel	bâti très dense (hypercentre) bâti dense - bâti moy. dense bâtisse individuelle bâti industriel et commerciale
verger sur prairie, jardin vigne - prairie	jardin ouvrier - vigne espace vert non entretenu (arbustes, prairie) espace vert entretenu (pelouse, gazon, parc) terrain sport (vert) - terrain sport dur terrain nu (chantier, sable)
conifères dominants mixte - feuillus dominants	terrain arboré, arbres isolés forêt feuillus
cultures d'hiver cultures printemps	culture I (maïs) culture II
	réseau voies ferrées - réseau routier parking, asphalté - cimetière
brumes, nuages	ombre

**Tableau 2 : Correspondance entre les classes choisies pour RECIUS 3 et REKLIP92.**

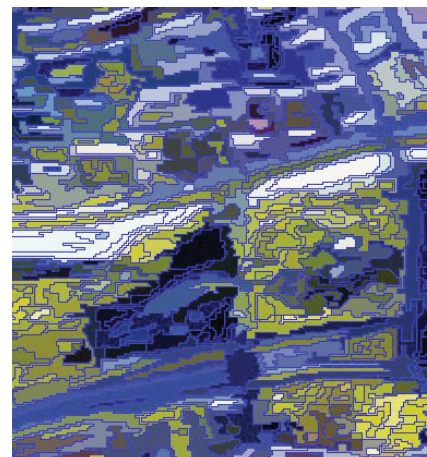




**Figure 9a :** Image DAIS brute, transect Nord-Sud



**Figure 9b :** Segmentation de niveau 1 (poids affecté au critère spectral).



**Figure 9c :** Segmentation de niveau 2 (poids affecté au critère spectral).

■ ■ ■ spectrale ne suffisent plus à classer les quantités d'informations stockées dans des images à très haute résolution [Caloz & Collet, 2001]. Il est nécessaire d'exploiter le contexte spatial du pixel.

## ■ Classification contextuelle

La technique de classification orientée-objet conçue dans le logiciel eCognition (Definiens Imaging) est basée sur le concept que l'information sémantique nécessaire à la classification d'une image n'est pas inhérente à des pixels individuels, mais à des objets homogènes (agrégation de pixels similaires) et aux relations liant ces objets entre eux.

Ces objets sont générés par un processus de croissance de région à plusieurs niveaux d'homogénéité, appelé segmentation multi-résolution. En se basant sur des critères spectraux et spatiaux (couleurs et forme), cette segmentation répond ainsi partiellement au problème, soulevé précédemment, de la variabilité spatiale et spectrale de la signature des pixels d'une même classe. De plus, la segmentation résulte en un réseau hiérarchique d'objets où chaque objet est connecté à son voisin horizontal (dans un même niveau de segmentation) ou vertical (entre niveaux de segmentations) [Baatz & Schäpe, 2000]. Les figures 9b et 9c présentent plusieurs niveaux de segmentation. On peut observer que le niveau choisi dépendra des entités spatiales que l'on désire mettre en évidence. Pour une première cartographie d'occupation du sol, le niveau 2 a été sélectionné car la taille

des objets correspond aux emprises attendues pour les différentes classes.

L'analyse orientée-objet dans eCognition est caractérisée par la multitude d'informations additionnelles qui peuvent être dérivées de chaque objet ou région. Les critères disponibles peuvent être classés en :

- des critères intrinsèques : représentent la couleur (compte numérique), la texture et la forme des objets.
- des critères topologiques : décrivent les relations géométriques entre les objets ou dans la scène complète (position, distance, relatives ou absolues,...).
- des critères contextuels : décrivent les relations sémantiques entre objets. Par exemple : une zone urbaine très dense est entourée en majorité de zone urbaine dense.

Cette variété de critères permet la discrimination des classes dans un espace à  $n$  dimensions, bien plus vaste que l'espace – uniquement à dimension spectrale – pris en compte dans la classification précédente.

## Choix des classes d'objets

Nous avons conservé les mêmes classes d'objets et saisi les mêmes zones échantillons, dans la mesure où le niveau de segmentation le permettait (Figure 10).

Dans le cas où seules les zones échantillons et les critères spectraux constituent les critères de discrimination, le classificateur fournit des résultats comparables à la classification dirigée avec l'algorithme de distance minimale. Mais si l'on profite des critères contex-

tuels cités ci-dessus, dès que des objets sont classifiés sur la base des critères intrinsèques et topologiques, la classification peut être affinée.

## Résultats et commentaires

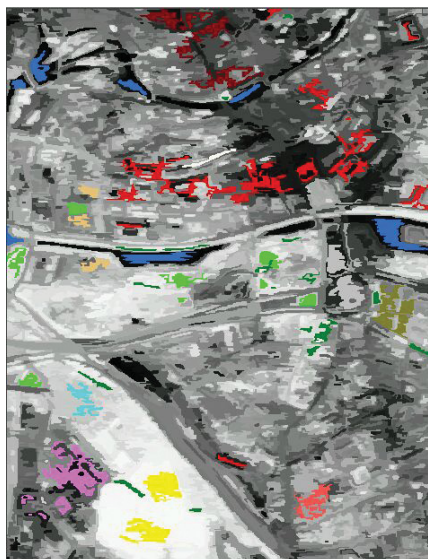
Le classificateur, basé sur la logique floue, permet d'établir des règles floues, c'est-à-dire des conditions qui doivent être remplies pour qu'un objet soit affecté à une classe avec un certain degré de certitude.

Ainsi, il a été possible d'améliorer la classification en ajoutant nos connaissances et nos descriptions de classes au processus de classification.

La classe "ombre" par exemple, a pu être séparée plus facilement de l'eau à l'aide d'un critère de voisinage, qui spécifiait que la différence en valeur moyenne des pixels d'une région avec les voisins dans le premier néocanal se trouvait dans un intervalle de valeurs seuils (cf. Figure 12). Néanmoins, le critère n'est pas encore suffisant pour couvrir la totalité des zones d'ombres.

Etant donnée la géométrie des objets constituant la classe "rivière", une règle faisant intervenir le rapport particulièrement grand de la largeur sur la longueur de ces objets a été intégrée dans le processus de décision. Le niveau de segmentation joue à nouveau un rôle déterminant pour l'emploi de ce critère géométrique.

Les résultats obtenus avec ce second classificateur sont présentés Figure 11. Certaines classes nécessitent d'être améliorées tandis que d'autres sont



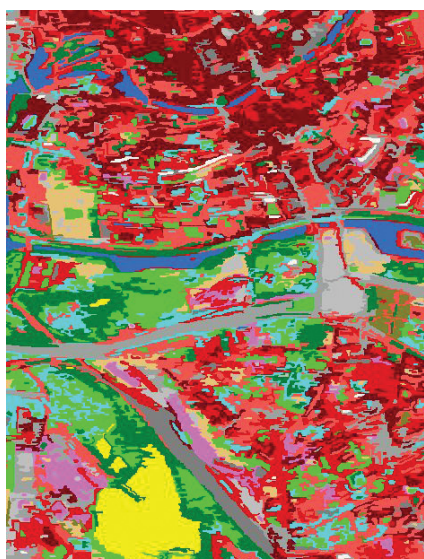
**Figure 10 :** Échantillons sélectionnés sur le niveau de segmentation 2 (extrait du transect Nord-Sud).

clairement définies. Si la précision globale est meilleure qu'avec la classification dirigée, il faut toutefois rester prudent quant aux conclusions à tirer.

On constate en effet une plus grande homogénéité des classes obtenues, mais également une amélioration dans la discrimination des classes "eau", "réseau routier", "ombre". Par contre, la présence forte de jardins ouvriers en zone bâtie mérite d'être affinée. Pour ce faire, des pré-traitements de type texturage [De Kok et al., 2003] ou filtrage [Lennon et al., 2002] préalables à la classification sont envisageables. L'objectif est d'arriver à l'établissement de règles prenant en compte des critères plus appropriés pour l'extraction de ces classes.

Théoriquement, si chaque classe pouvait être décrite précisément par un ensemble de règles de reconnaissance, ce noyau de règles devrait être directement transférable sur des images issues du même capteur et ayant subi une segmentation similaire. L'approche semble donc prometteuse.

Une classification faisant abstraction des zones échantillons et se basant uniquement sur les règles floues n'a toutefois pas été réalisée dans cette étude. Si certaines classes sont aisément descriptibles, il n'en est pas de même pour des classes de type bâti commercial / industriel ou dense / moy. dense en raison de

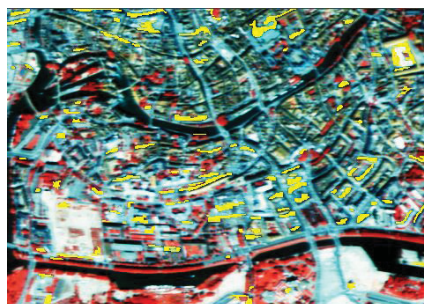


**Figure 11 :** Classification obtenue avec eCognition (échantillons et règles floues) ; 24 classes.

la complexité grandissante des règles d'appartenance à établir. L'intégration d'une couche supplémentaire thématique du type Plan Local d'Urbanisme devrait augmenter la fiabilité des règles établies [Esch et al., 2003].

Cet exemple montre clairement que non seulement l'écriture des conditions mais aussi le degré de segmentation choisi sont déterminants. Le niveau choisi dans cette expérimentation convient à la discrimination de classes relativement homogènes et linéaires, telles que l'eau ou les réseaux.

Par contre, si des paramètres géométriques tels que l'emprise de bâtiments, la surface des toits, etc. doivent être considérés par la suite, il faudra envisager un autre degré de segmentation pour les classes de bâti. L'étude correspondante se basera fort probablement



**Figure 12 :** Extraction de la classe "ombre" (jaune ici) à l'aide uniquement d'une fonction d'appartenance (à gauche ci-contre).

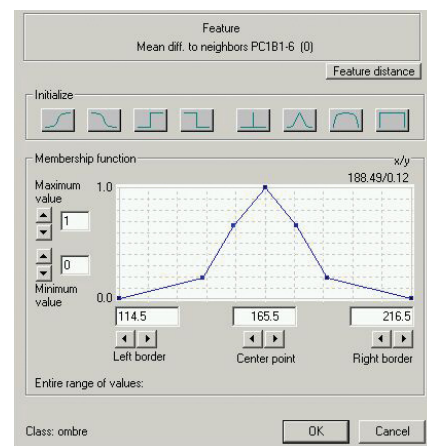
sur des données de meilleure résolution spatiale telles que les images Quickbird. La discrimination qui en découlera devra permettre de compléter les paramètres géométriques d'ores et déjà observés par photogrammétrie.

## Conclusion et perspectives

Le projet RECIUS 3 rassemble autour d'un même objectif plusieurs équipes de recherche dont les axes sont pourtant initialement distincts. S'il a pour objectif à plus ou moins long terme de modéliser les bilans radiatifs et énergétiques à l'échelle d'une agglomération urbaine, il dépend de l'intégration de produits réalisés par photogrammétrie et par télédétection.

Cet article a présenté plus particulièrement les traitements réalisés par télédétection en vue d'établir une méthodologie de classification d'occupation de sols. Ainsi deux approches ont été évoquées. L'approche adoptée classiquement a montré des faiblesses. En effet, depuis l'avènement des images à très haute résolution spatiale, les processus d'analyses d'images basés uniquement sur les valeurs spectrales des pixels ne suffisent plus à classer les quantités d'informations stockées dans l'image. Ces processus se doivent d'intégrer les connaissances a priori que l'analyste a de ces objets.

Dans ce contexte, une seconde approche orientée-objet a été étudiée. D'une part, l'unité élémentaire d'une image est à présent l'"objet" et non plus le pixel. D'autre part, cette approche met à disposition de l'analyste – en plus des critères spectraux – une quantité impres-





■ ■ ■ sionnante de critères contextuels aidant à la discrimination des classes. Ainsi, la classification d'occupation du sol peut être affinée et renforcée par le biais de règles et de critères contextuels.

Toutefois, la mise en œuvre de règles d'affectation sur la base de ces critères peut devenir très rapidement extrêmement complexe et laborieuse. De plus, les responsabilités de l'analyste par l'introduction de règles "subjectives" n'en sont que plus accrues.

Beaucoup de travail d'analyse reste donc nécessaire jusqu'à l'aboutissement de règles automatiques qui soient adaptables aisément aux autres images acquises durant la campagne de vol. Une fois ces cartographies validées, l'étape de mise en corrélation avec les paramètres climatologiques peut débuter.

Dans un objectif davantage géométrique que thématique, l'approche classification orientée-objet par la logique floue a pu être appliquée de façon plus discriminante à l'extraction de bâtiments [Boulaassal & Neusch, 2004]. Le contour de bâtiment peut en effet être utile à l'élaboration de paramètres géométriques, voire d'indices numériques, connus pour affecter les termes du bilan radiatif. ●

## Références

- Al Khalil, O., (1999).** *Méthodes de caractérisation de la géométrie urbaine en climatologie.* Mémoire de DEA "Systèmes spatiaux et environnement", UFR de Géographie de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg et ENSAIS.
- Baatz M. & A. Schäpe (2000) :** *Multiresolution Segmentation: an optimisation approach for high quality multi-scale image segmentation.* In : Strobl, J.&T. Blaschke (Hrsg) : *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII.* Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000.
- Bianchin, A. & Barvin, L. (2003) :** *Land use in urban context from IKONOS image: a case study.* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol.XXXIV-7, Regensburg, Germany, 27-29 June 2003.
- Boulaassal, H. & Neusch, T. (2004) :**

*Analyse orientée-objet pour la détection de bâtiments à partir d'une image satellitaire à très haute résolution spatiale.* Revue de l'Association Française de Topographie, XYZ n°101, ISSN 0290-9057, 4<sup>e</sup> trimestre 2004, pp.25-28.

**Caloz, R. et Collet, C. (2001) :** *Précis de Télédétection ; Vol.3. Traitements numériques d'images de télédétection,* Presses de l'Université du Québec.

**De Kok R., Wever T., Fockelmann R. (2003) :** *Analysis of urban structure and development applying procedures for automatic mapping of large area data.* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol.XXXIV-7, Regensburg, Germany, 27-29 June 2003.

**Esch, T., Roth, A., Günter, S. Dech, S. (2003) :** *Object-oriented classification of Landsat-7 data for regional planning purposes.* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol.XXXIV-7, Regensburg, Germany, 27-29 June 2003.

**Grussenmeyer, P., 2003 :** *Photogrammétrie architecturale et modélisation 3D du patrimoine.* Revue de l'Association Française de Topographie. ISSN 0290-9057, 2e trim. 2003 N°95, p.30-36.

**Lennon, M., Mercier, G., Mouchot, M.C., Hubert-Moy, L., (2001) :** *Independent Component Analysis as a tool for the dimensionality reduction and the representation of hyperspectral images.* IGARSS 2001, 9-13 July 2001, Sydney, Australia.

**Lennon, M., Mercier, G., Hubert-Moy, L., (2002) :** *Classification of hyperspectral images with nonlinear filtering and support vector machines.* IGARSS 2002 Conference, Toronto, Canada.

**Najjar, G., Biron, P. (2004) :** *Projet REKLIP.* Rapport final du groupe Bilan Hydrique. Parution fin 2004

**Najjar, G., Kastendeuch, P.P., Stoll, M.P., Colin, J.R., Nerry, F., Ringenbach, N., Bernard, J., De Hatten, A., Luhahe, R., Viville, D. (2003):** *Télédétection, rayonnement et bilan d'énergie en climatologie urbaine à Strasbourg, le projet RECLUS* (article soumis à "La Météorologie").

**Scherf, M., Hill, J., Baerisch, S. and**

**Atzberger, C. 2003 :** *Einfluss der spektralen und räumlichen Auflösung von Fernerkundungsdaten bei der Nadelwaldklassifikation,* PFG Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 2003, Heft1.

## Contact

**Tania LANDES**

**Pierre GRUSSENMEYER**

PAGE (Photogrammétrie Architecturale et GEomatique)-MAP-UMR 694  
INSA de Strasbourg - 24 Boulevard de la Victoire F-67084 Strasbourg Cedex  
Email: tania.landes@insa-strasbourg.fr ou pierre.grussenmeyer@insa-strasbourg.fr

**Georges NAJJAR**

LSIIT (Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection)/TRIO  
UMR 7005 - Pôle API  
5 bd Sébastien Brant - 67400 Illkirch  
Georges.Najjar@mail-grtr.u-strasbg.fr

## ABSTRACT

*Remote sensing and photogrammetry become closer as never before and this tendency is remarkable in sensor technologies as well as in geometrical processings of the image. The complementary use of both techniques is reflected in projects such as RECLUS 3 (Rayonnement et bilan d'Energie en Climatologie Urbaine à Strasbourg) initiated by LSIIT. This project aims to model the radiative and energy balance equations based on micrometeorological, atmospheric and remote sensed data collected in and over the urban zone of Strasbourg. The measurement campaign will be described before considering photogrammetric and remote sensing aspects. Afterwards, we will focus more particularly on the results obtained by the use of two classification approaches which lead to a land cover thematic map using high resolution images.*