

Télédétection et photogrammétrie au service de la climatologie urbaine à Strasbourg. Le projet RECIUS 3

Tania Neusch¹, Pierre Grussenmeyer¹, Georges Najjar²

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

(2) LSIIIT (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

Résumé

La photogrammétrie et la télédétection 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 LSIIIT. 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 les volets photogrammétriques et de télédétection. Dans ce dernier volet 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 l'aide d'images à très haute résolution.

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

Abstract

Photogrammetry and remote sensing 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 RECIUS 3 (Rayonnement et bilan d'Énergie en Climatologie Urbaine à Strasbourg) initiated by LSIIIT. 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 thematical map using high resolution images.

Keywords : remote sensing, photogrammetry, digital surface models, urban climatology, high resolution sensors.

1. Contexte du projet RECIUS 3

Le projet RECIUS 3 (Rayonnement et bilan d'Énergie en Climatologie Urbaine à Strasbourg) initié par le LSIIIT 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. §1.2.), dont les résultats en sortie seront validés par les mesures au sol et les données de télédétection.

Le bilan radiatif R_n s'écrit :

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

avec

R_G : rayonnement global incident

a : 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 conséquente en données micro-météorologiques, atmosphériques et d'imagerie.

1.1. 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 REC/US 2. Elle comprend :

- des données micro-météorologiques : Elles ont été effectuées
 - (a) 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.
 - (b) 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 30m.

- des données atmosphériques : 11 radiosondages pendant les jours de vols servant 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 télédétection : 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, LSIT) au sol.

Des mesures complémentaires (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); à l'échelle du quartier, le secteur situé dans les environs de cette rue a été considéré.

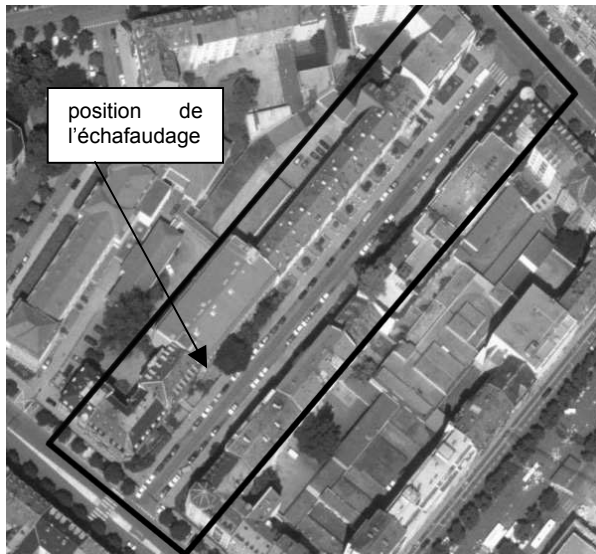


Figure 4 : Rue de l'Argonne (Strasbourg), sélectionnée comme « canyon urbain » (image orientée plein Nord). Photo aérienne au 1/8000.

1.2. Modélisations envisagées

Deux modèles atmosphériques bien adaptés à l'environnement urbain seront 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 différentes 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 fera 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 feront 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 apportées. 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, réalisé par technique photogrammétrique (cf. § 2).

Les données de télédétection, quant à elles seront 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. § 3).

2. Volet photogrammétrie

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 1/8000, 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.

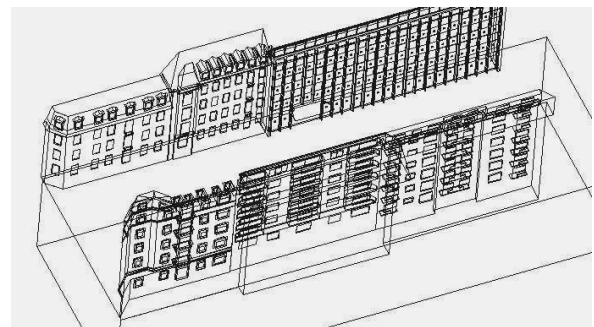


Figure 5 : Modèle filaire issu de la restitution des façades de la rue de l'Argonne (Strasbourg).

Depuis 1999, un module spécifique du logiciel de photogrammétrie 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].

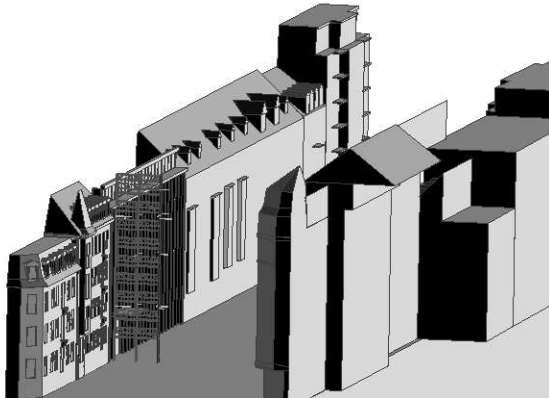


Figure 6 : Modèle volumétrique des bâtiments de la rue de l'Argonne (Strasbourg).

D'autre part, la rue dans laquelle ont eu lieu les mesures climatologiques a été modélisée sur la base de prises de vues terrestres par des procédés de photogrammétrie 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.

3. Volet télédétection

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

3.1. 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 reflectances sols, mais aussi l'estimation du contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère et sa variabilité spatiale dans l'atmosphère urbaine.

3.2. 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 (des termes du bilan radiatif et les mesures de flux), dans une optique de validation des

données de télédétection. Par exemple, 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.

3.3. Outil de spatialisation d'informations ponctuelles

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

3.4. 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 sera traitée dans le paragraphe suivant selon deux approches.

4. Cartographie d'occupation des sols

4.1. 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 des résolutions au sol de l'ordre de 4 mètres. La fauchée est de l'ordre de 1Km. 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 kilomètres 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.

Capteur	Résolution spatiale	Bandes spectrales
DAIS 7915 (aéroporté)	<u>hyperspectral</u> : 3 à 20 m (fonction de l'altitude de vol)	79 bandes étroites entre 496 et 12296 nm
Quickbird (satellitaire)	<u>panchro</u> : 0.61 m (nadir)	450 à 900 nm
	<u>multispectral</u> : 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.

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

4.2. Pré-traitements

4.2.1. 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.

4.2.2. Réduction de la dimension spectrale

Après soustraction des bandes bruitées, les quelques 70 bandes spectrales restantes constituaient 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.

4.3. 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.

4.3.1. Choix des classes d'objets

Les zones échantillons ont été sélectionnées par reconnaissance terrain, à l'aide de l'image Quickbird et de photos aériennes.

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

Classes REKLIP 92	Classes REC/US 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, asphalte - cimetière
-- - brumes, nuages	- ombre --

Tableau 2 : Correspondance entre les classes choisies pour REC/US 3 et REKLIP92.

Etant donnée la différence de résolution spatiale des capteurs employés dans les deux projets, il a été possible de discriminer des classes pour REC/US3 qui n'intervenaient pas dans REKLIP92 (découlant essentiellement 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.

4.3.2. 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

échantillons. 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 « 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 spectrale ne suffisent plus à classifier 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.

4.4. 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.

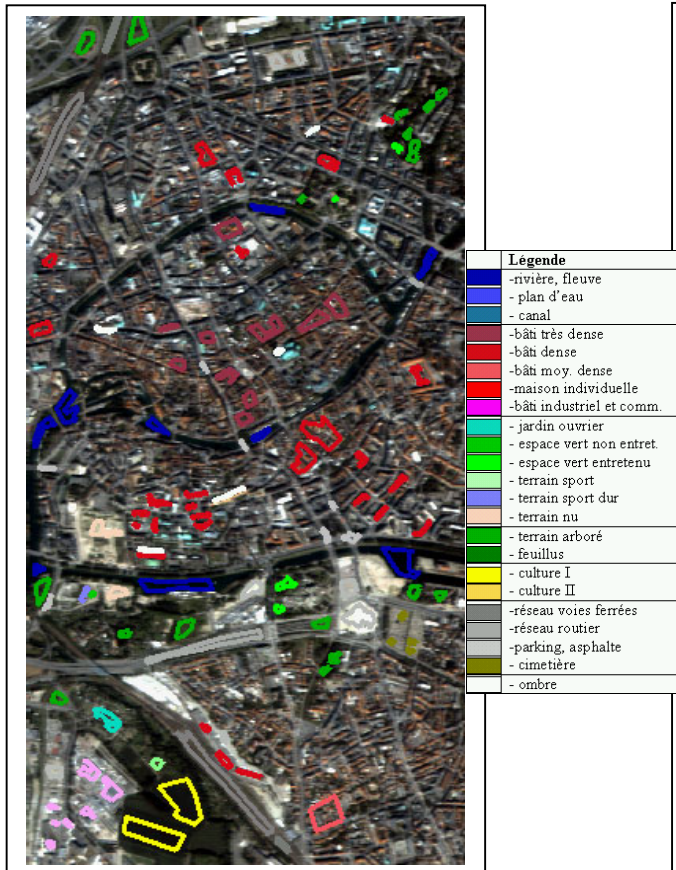


Figure 7 : Composition colorée de l'image DAIS en couleurs réelles RGB=11/5/1, avec zones échantillons saisies (tranchet N-S).

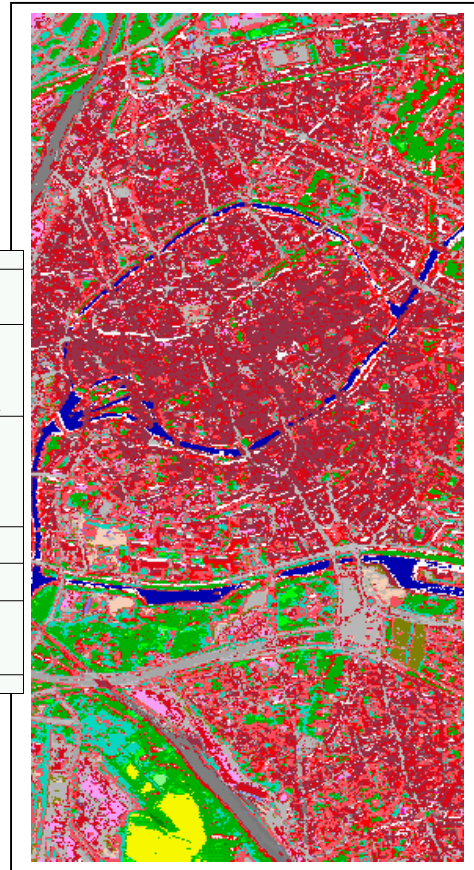


Figure 8 : Classification dirigée par maximum de vraisemblance (Ermapper) avec 24 classes d'intérêt.

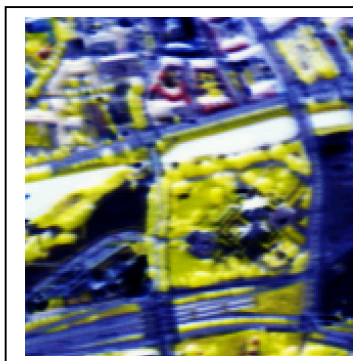


Figure 9a: Image brute de DAIS transect Nord-Sud (en CP)

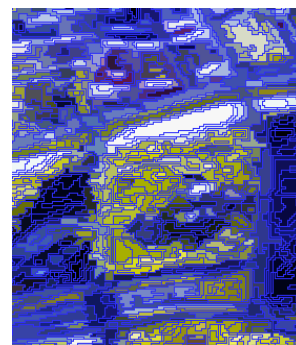


Figure 9b : Segmentation de niveau 1 (poids affecté au critère spectral).

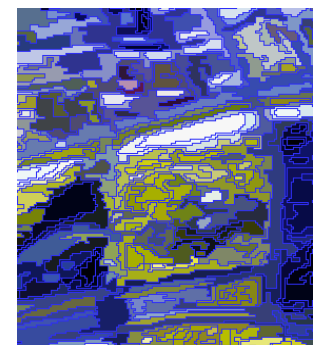


Figure 9c : Segmentation de niveau 2 (poids affecté au critère spectral).

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 très dense.

Cette variété de critères permet d'analyser la discrimination des classes dans un espace à n dimensions, bien plus vaste que de l'espace spectral pris en compte dans la classification précédente.

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

4.4.2. 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.

De part la géométrie des objets constituant la classe « rivière », une règle a fait intervenir le rapport particulièrement grand pour ces objets de la largeur sur la longueur. Le rôle joué par le degré de segmentation est à nouveau souligné.

Les résultats obtenus avec ce second classificateur sont présentés Figure 11. Certaines classes nécessitent d'être améliorées tandis que d'autres sont 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 une plus grande homogénéité des classes, mais également l'amélioration de 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 étant d'arriver à l'établissement de règles prenant en compte des critères plus appropriés pour l'extraction de cette classe.

Théoriquement, si chaque classe pouvait être décrite par des règles floues, ce noyau de règles devrait être transférable sur des images issues du même capteur, avec une segmentation similaire. L'approche semble prometteuse.

Une classification faisant abstraction des zones échantillons et se basant uniquement sur les règles floues n'a toutefois pas été atteinte 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 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 est déterminant. 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 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 (§2).

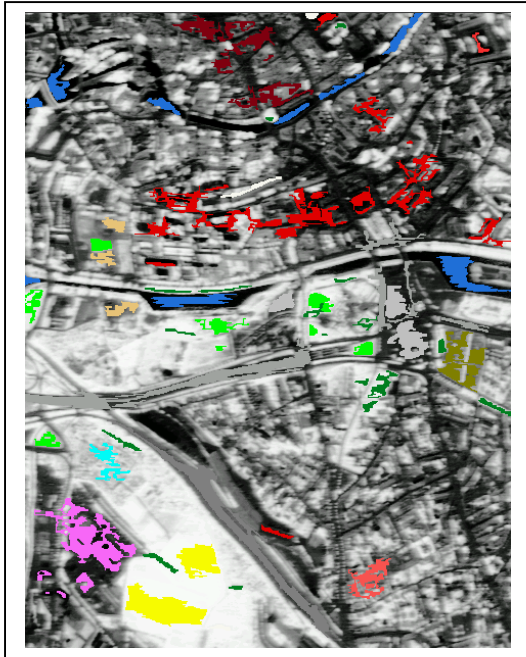


Figure 10 : Echantillons sélectionnés sur le niveau de segmentation 2 (extrait du transect Nord-Sud).

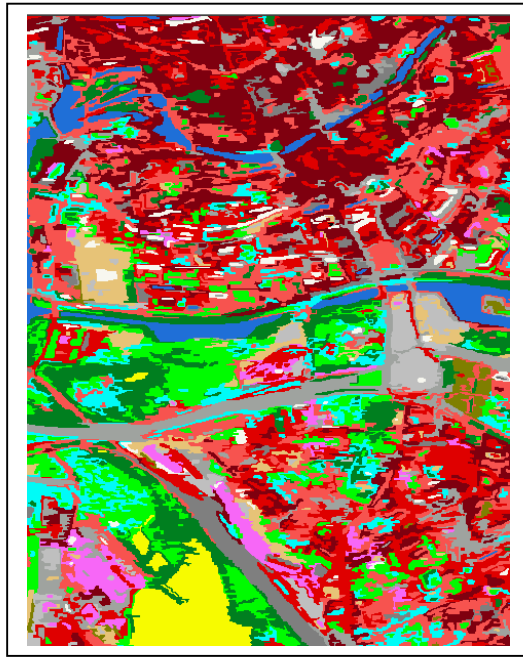


Figure 11 : Classification obtenue avec eCognition (échantillons et règles floues) ; 24 classes.

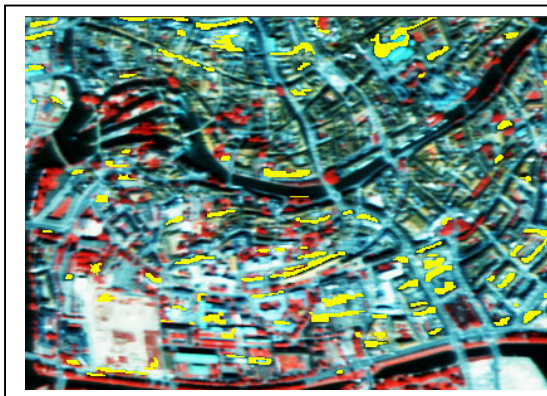
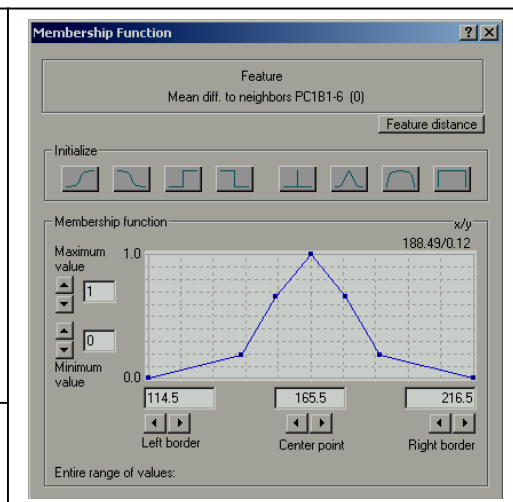


Figure 12 : Extraction de la classe « ombre » (jaune ici) à l'aide uniquement d'une fonction d'appartenance (à gauche ci-contre).



5. Conclusion et perspectives

Le projet REC/US 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 (MNE) et par télédétection (cartographie d'occupation du sol).

Cet article a présenté plus particulièrement le dernier point suivant deux approches. L'approche adoptée classiquement en vue de réaliser une cartographie d'occupation du sol a montré des faiblesses. En effet, depuis l'avènement des images à très haute résolution

spatiale, les processus d'analyses d'images basés sur les valeurs spectrales des pixels ne suffisent plus à classifier les quantités d'informations stockées dans l'image. Ces processus doivent alors savoir intégrer les connaissances *a priori* que l'analyste a de ces objets.

Dans ce cadre, une seconde approche, orientée-objet, a été étudiée. Elle met à disposition de l'analyste (en plus des critères spectraux) une quantité impressionnante de critères contextuels aidant à la discrimination des classes. Ainsi, la classification d'occupation du sol a pu 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 n'en sont que plus accrues.

Beaucoup de travail d'analyse reste 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 pourra débuter.

D'autre part, à partir de l'approche orientée-objet étudiée précédemment mais de façon plus discriminante, l'extraction de bâtiments donc de paramètres géométriques sera étudiée afin d'aboutir à l'élaboration d'indices numériques affectant 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.
- Caloz, R. et Colllet, 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., Luhache, 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.