

La télédétection urbaine

à l'aube de la très haute résolution spatiale

J.-P. Donnay, C. Collet & C. Weber

Réseau Télédétection de l'AUF - Lausanne - novembre 1999



Photographie aérienne

- **Prise de conscience des contraintes :**
 - Du support : échelle, résolution des clichés, filtres éventuels...
 - Du milieu : matériaux, ombres, pollution, etc.
- **Définition des critères de qualité :**
 - Exactitude de position (2D ou 3D en photogrammétrie)
 - « Qualité » du photo-interprète
- **Nomenclatures mixtes :**
 - Usage + occupation physique du sol

URBAN/SUBURBAN LAND USE ANALYSIS

TABLE 30-7

Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data [Anderson et al., 1976].

1 Urban or Built-up Land

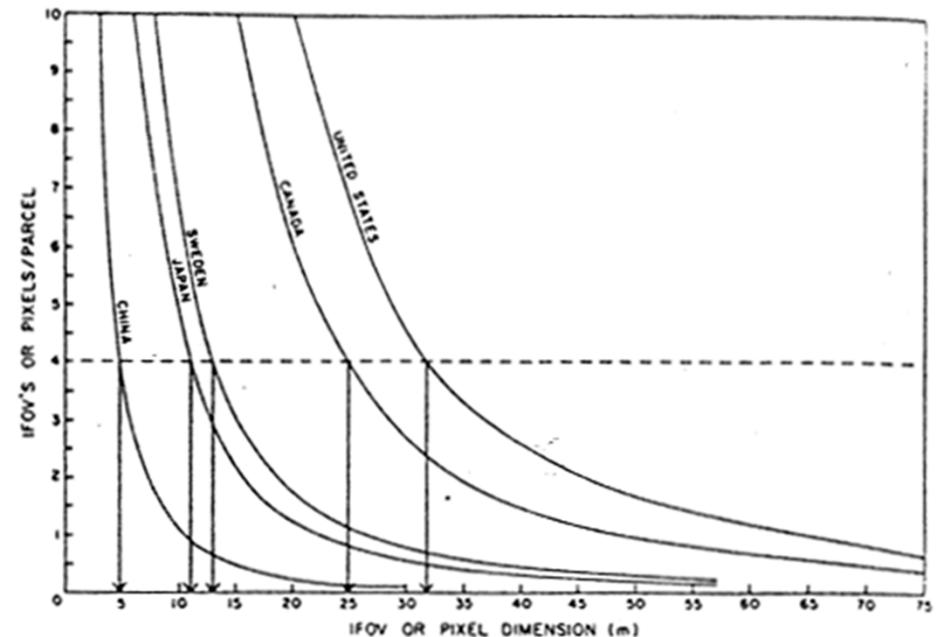
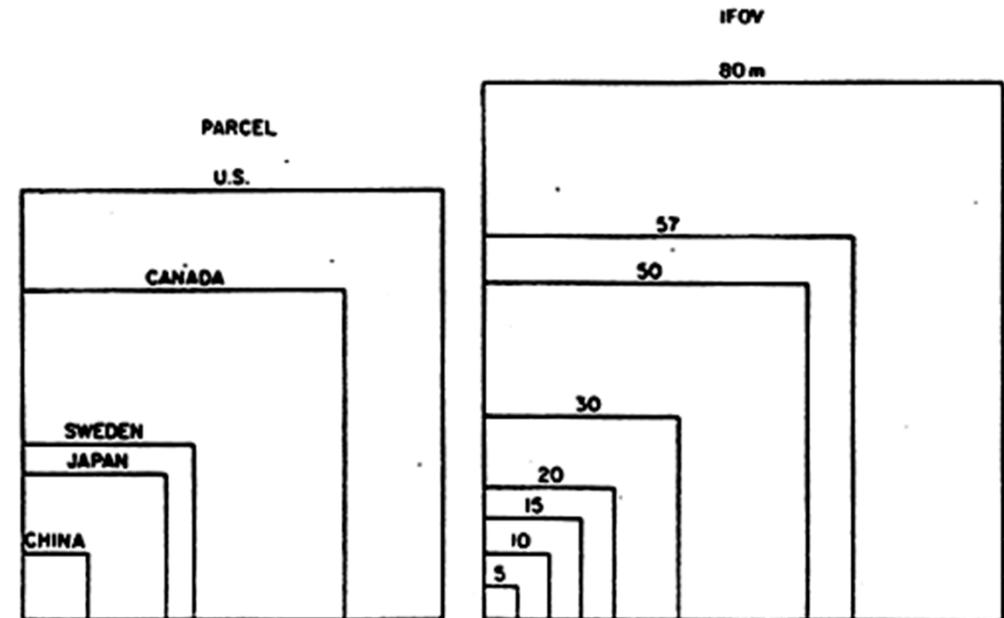
- 11 Residential.
- 12 Commercial and Services.
- 13 Industrial.
- 14 Transportation, Communications, and Utilities.
- 15 Industrial and Commercial Complexes.
- 16 Mixed Urban or Built-up Land.
- 17 Other Urban or Built-up Land.

*La nomenclature standard
des affectations urbaines « identifiables » par
téledétection aérienne en 1976...*



Années 70 : MSS

- **Problèmes de la résolution :**
 - Recherche d'une taille optimale de pixels (*IFOV*) selon les milieux
 - Analyse de la contamination radiométrique entre pixels voisins
 - **Problèmes de la classification :**
 - « *Land use / Land cover* »
 - Faible utilité, en télédétection urbaine, d'un catalogue de signatures spectrales
 - Matériaux identiques pour des usages / fonctions différents (asphalte, béton, etc.)
- N.B. Problèmes rémanants en télédétection urbaine pendant 20 ans !*
- **Analyse limitée à la détection**
 - Mise en évidence des « taches urbaines » par équidensité ou composition colorée

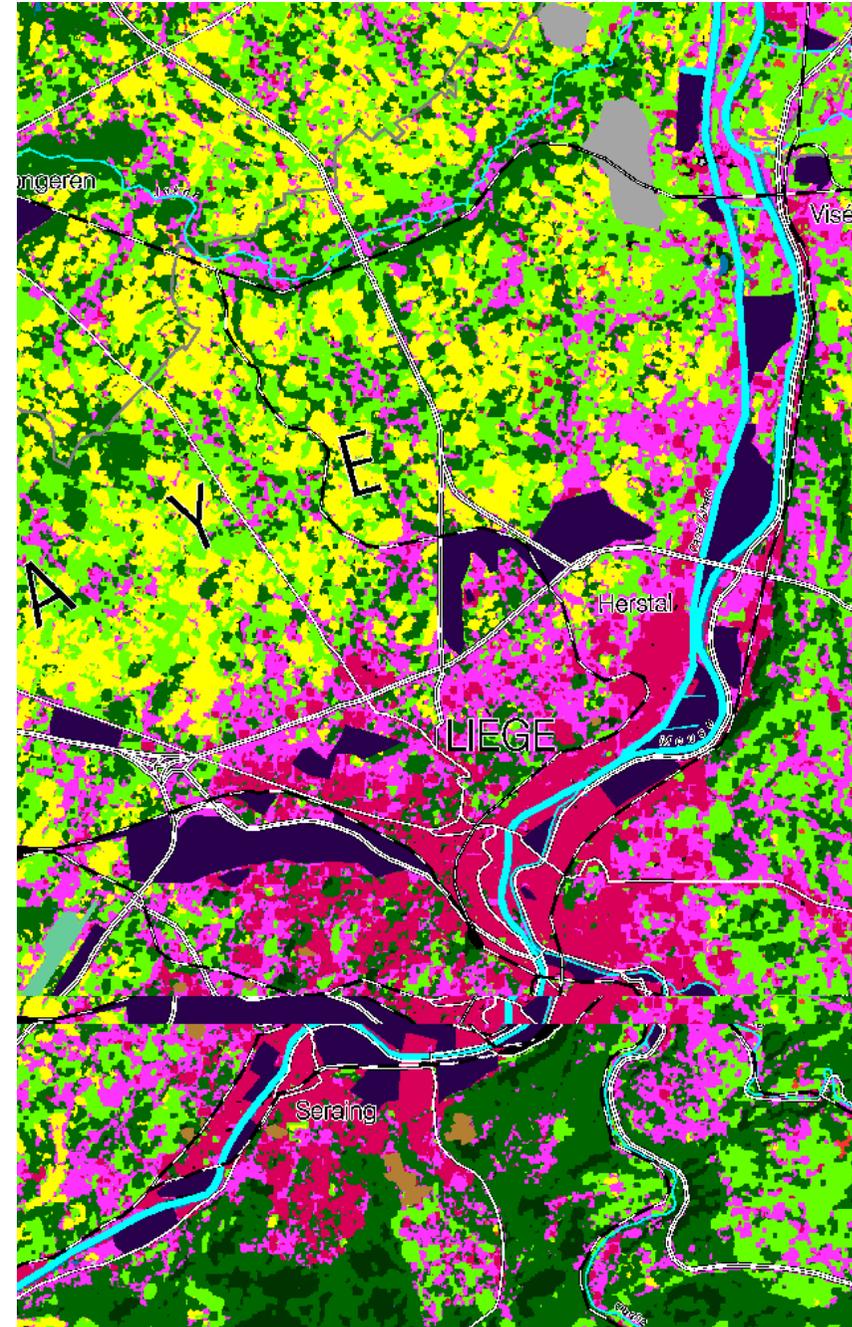


Comparaison : résolution - taille des parcelles



Années 80 : TM

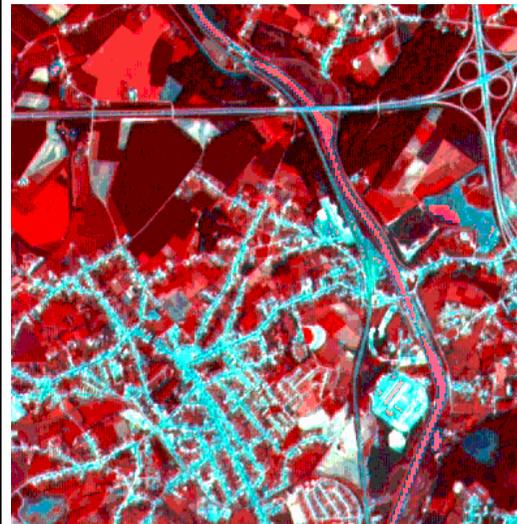
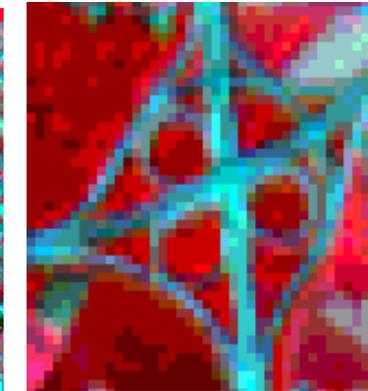
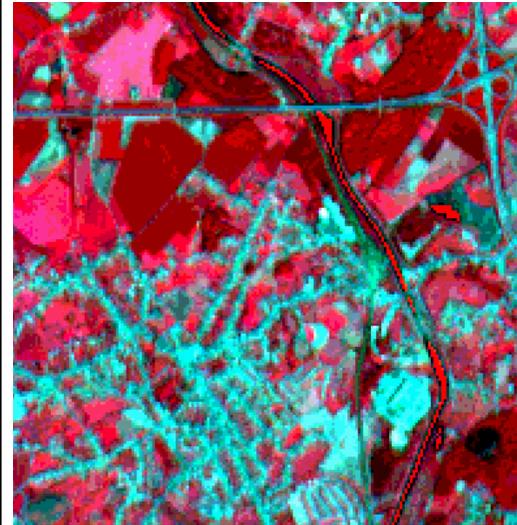
- De la détection à l'identification :
 - Premières analyses **synoptiques** : emprise de l'urbanisation, avancée du front urbain
 - Traitements par compositions colorées, indices divers, classifications grossières
 - **Pays en développement** : peu de données + milieux urbains très dynamiques
 - **Pays d'urbanisation récente** : plans en damier, îlots et bâtiments de grande taille
 - **Pays d'urbanisation dense** : amélioration par importation de données exogènes
- **Simulations des futurs capteurs** :
 - Élargissement des domaines d'application **pressentis** grâce à la résolution de SPOT P (10 m)





Années 80 : SPOT

- **Déception au niveau multispectral :**
 - 3 canaux seulement, avec une corrélation élevée entre les canaux visibles XS1 et XS2
 - Résolution trop faible pour résoudre le tissu urbain (notamment dans les villes européennes et asiatiques)
 - Classifications grossières
- **Satisfaction au niveau panchro :**
 - Résolution possible des principales structures urbaines
 - Exploitation visuelle des images P :
 - PIAO - IIAO
 - Essais d'extraction de réseaux
- **Premières applications de la fusion :**
 - XS + P
 - Applications aux compositions colorées FCIR (→ PIAO)





Analyses multicapteurs

- **Combinaison de capteurs optiques :**
 - Apport radiométrique : TM, XS
 - Apport géométrique : P, Kosmos...
- **Amélioration des algorithmes de fusion :**
 - Pour les compositions colorées (3 bandes maximum)
 - Objectif : conserver au mieux la radiométrie (couleurs) des bandes rééchantillonnées :
 - ACP avec conversion de Taylor, TSI avec normalisation locale, ondelettes, etc.
- **Approche multiéchelle :**
 - Segmentation de l'image
 - Recherche de limites stables et cohérentes



Extrait d'une photo Kosmos scannée (rés. ~ 3 m)



Fusion SPOT XS et KOSMOS:

*Liège (à gauche)
Varsovie (ci-dessous)*

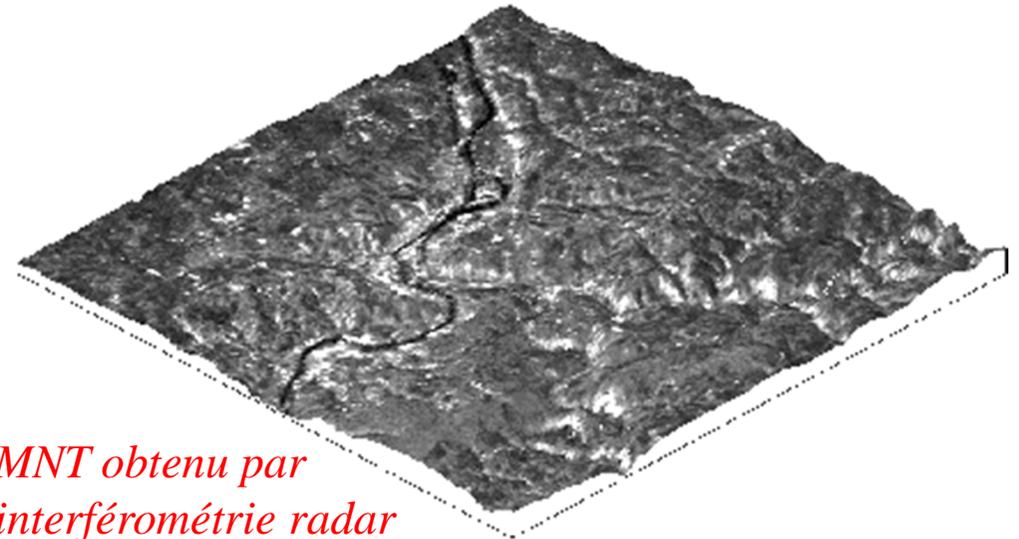




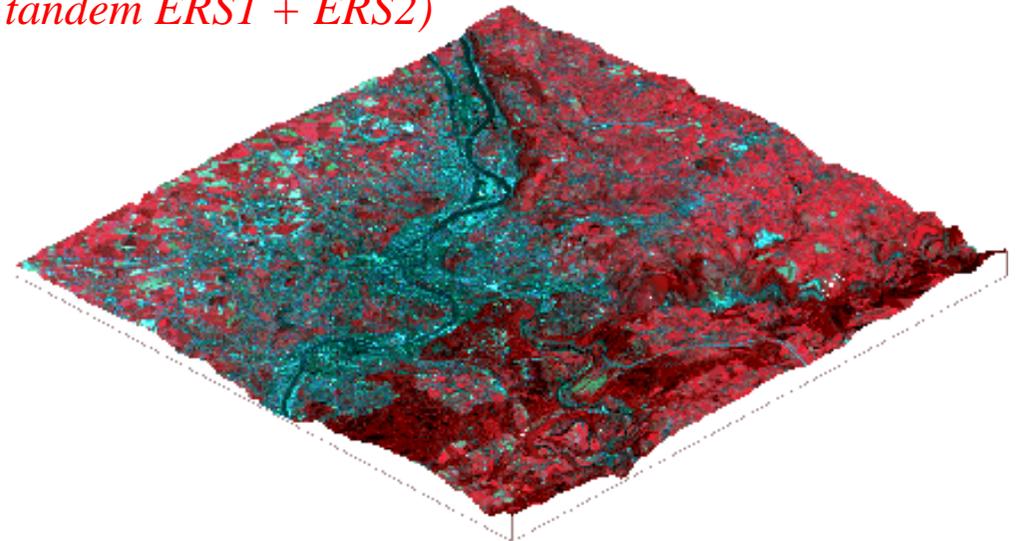
- **Combinaison optique + radar**
 - **Exploitation de l'interférométrie :**
 - Extraction de MNT
 - Correction de la radiométrie optique par l'orographie
 - Applications en planification biophysique (non spécifique au milieu urbain)
 - **Compositions colorées :**
 - 3 images multidates
 - Meilleur figuré du relief
 - Exploitation du caractère « tout temps » du radar
 - **Autres applications :**
 - Ex. pseudo-canaux de texture

N.B. Problèmes de géométrie :

- *Résolution*
- *Correction géométrique des images radar*



*MNT obtenu par
interférométrie radar
(tandem ERS1 + ERS2)*

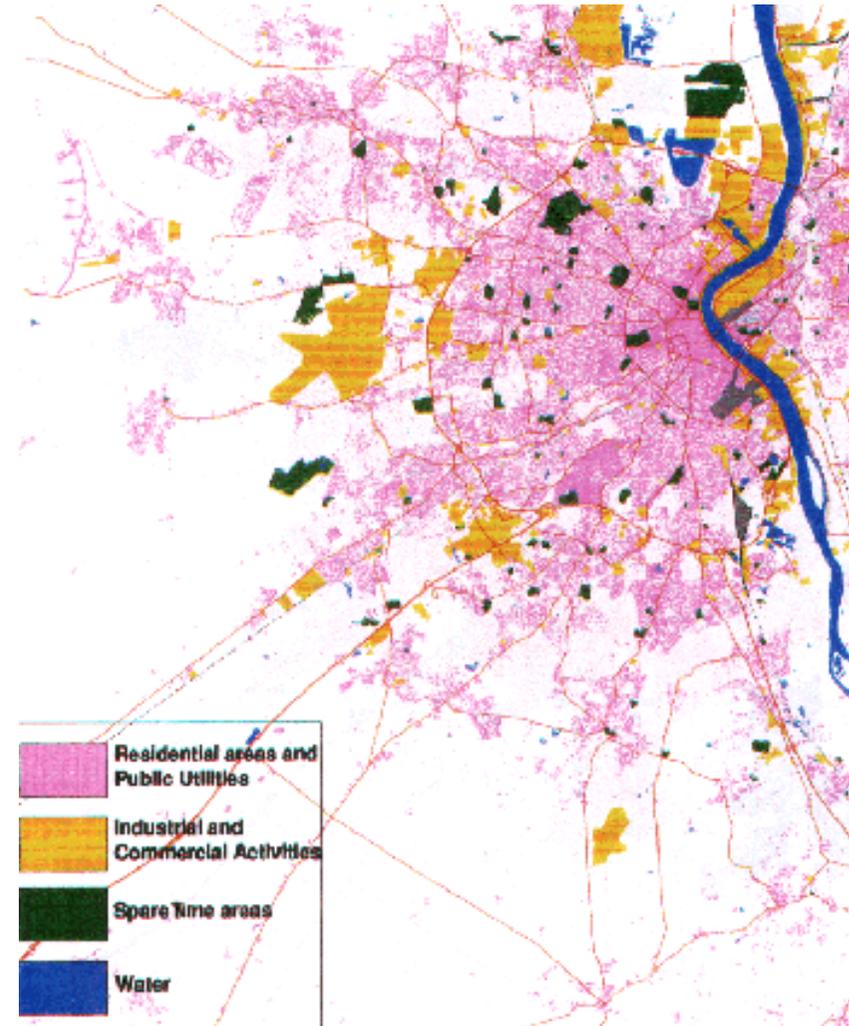


Drapage par une composition colorée SPOT XS



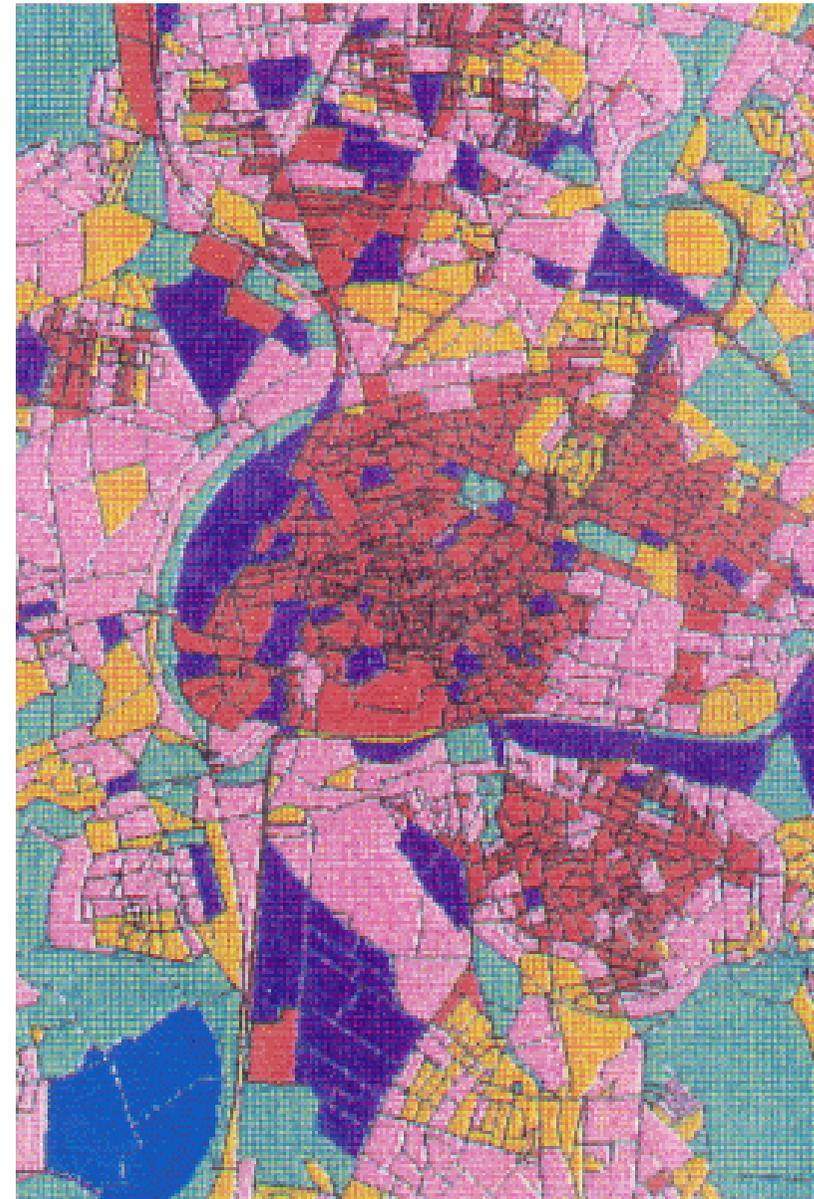
Les classifications urbaines

- **Faiblesse des démarches traditionnelles :**
 - Mixels
 - Caractère non univoque de la radiométrie en milieu urbain
- **Conséquences :**
 - Multiplication des solutions supervisées : peu opérationnelles
 - Exploratoires / artisanales
 - Non implémentées en standard
 - Incorporation d'informations exogènes :
 - Limites issues de cartes, etc.
 - À l'excès : mosaïque d'extraits de plans !
 - **Retour en force de la PIAO - IIAO** pour l'interprétation visuelle « assistée » par ordinateur !



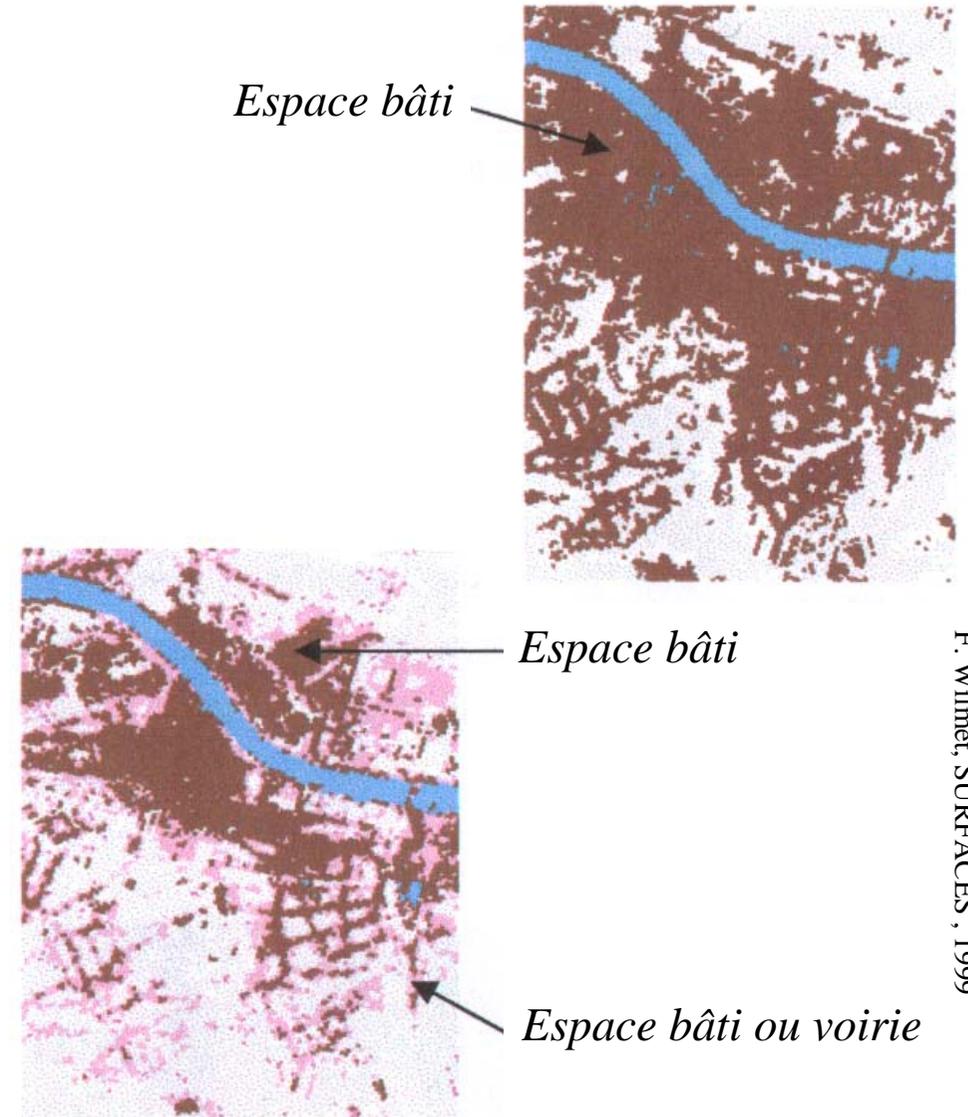


- **Segmentation de l'image :**
 - Algorithme de segmentation automatique (classification non supervisée ou morphologie mathématique) ou par seuillage
 - Sur base mono ou multispectrale
 - Traitement des indices de végétation
 - Approche multiéchelle - multirésolution
 - Importation de limites exogènes (et de leurs attributs)
- **Classifications par zones :**
 - Homogénéité des segments préalablement définis
 - Disponibilité éventuelle d'attributs exogènes des zones surimposées
 - Nomenclature grossière mais moins liée à la nature biophysique (plus proche de l'urbaniste)





- **Améliorations statistiques :**
 - Toutes les solutions proposées par la littérature ont été essayées en milieu urbain :
 - Affinage des probabilités a priori (classification non supervisée, information exogène, amélioration des sites d'entraînement)
 - Amélioration des probabilités a posteriori (solutions itératives)
 - Classifications par réseaux de neurones
 - Signatures et classifications « floues »
- **Classification au sous-pixel :**
 - Analyse des combinaisons de signatures formant la valeur du pixel (« soft classifier »)
 - Ne résout ni l'aspect fonctionnel ni les confusions dues à un même matériau



Comparaison des résultats d'une classification de l'espace bâti par maximum de vraisemblance (haut) et par Dempster-Shafer avec signatures floues (bas)



Modélisation et analyse spatiale

- **Image classée / segmentée =**
 - Couche d'informations (image)
 - Collection d'entités/objets (R2V)
 - Stratification (2D) de l'espace
- **Un catégorie d'affectation =**
 - Emprise au sol de l'affectation
 - Limite morphologique de l'emprise
- **Exploitation de la stratification :**
 - Base d'un sondage stratifié pour une procédure d'**échantillonnage** :
 - Population, prix foncier, etc.
 - Indices urbanistiques 2D (CES)
 - Base pour la comparaison de variables se rapportant à des **unités spatiales distinctes** :
 - Principe du carroyage, implicite en mode image
 - Base d'une « **surface de coût** » :
 - Friction de la distance

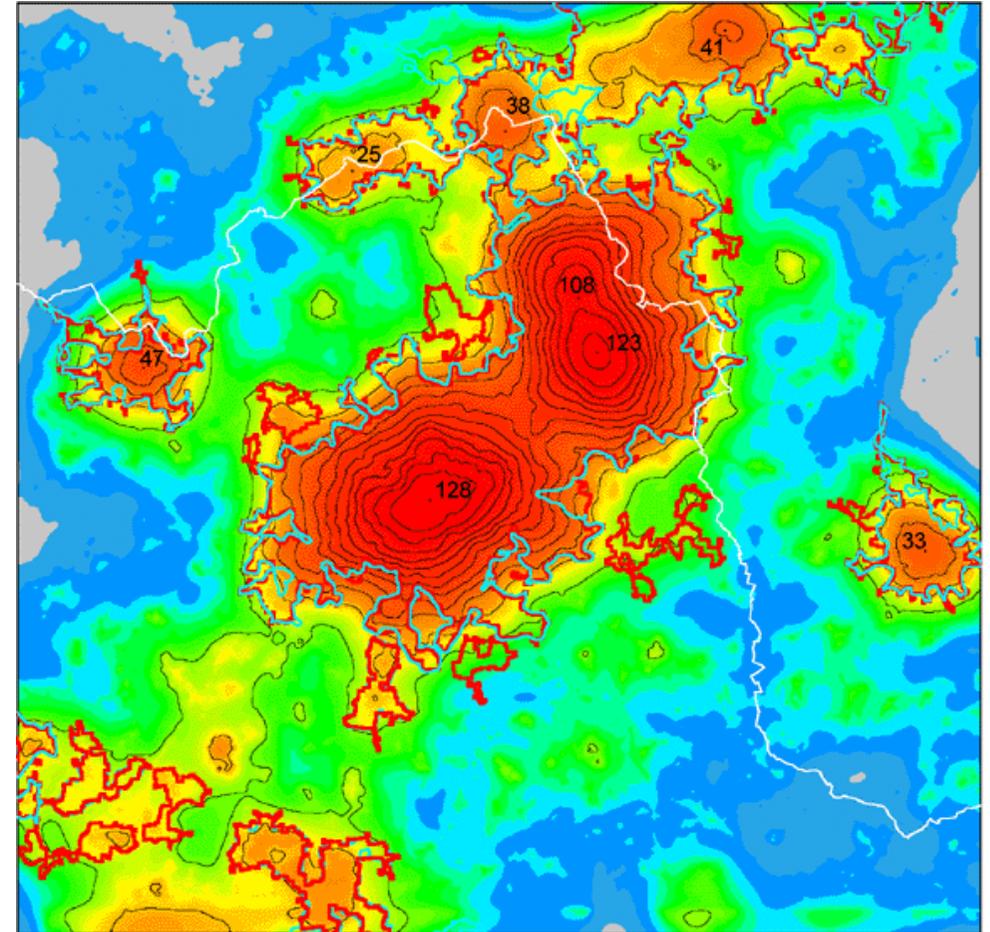


Y. Baudot - UCL - 1993

Définition de quartiers homogènes au départ de l'image classée pour l'établissement d'une enquête démographique



- **Exploitation de l'emprise/affectation**
 - Base d'un calcul / une cartographie **densimétrique** :
 - Variable exogène ramenée à la superficie de l'emprise :
ex. démographie, économie...
ramenée à la superficie résidentielle / bâtie
 - Base d'une analyse des interactions entre les affectations :
 - Modèle de **potentiel** appliqué, après calibrage, à chaque catégorie d'affectation :
ex. accessibilité aux espaces verts / bâtis, zones d'influence
 - Combinaison des surfaces de potentiel : ex. pression urbaine sur l'environnement, verdurisation du bâti résidentiel



re 9 :

0 5 km

*Champ de potentiel sur l'agglomération
transfrontalière de Lille*



Très haute résolution

- **Plusieurs programmes annoncés**
 - Images Ikonos distribuées 01/2000
 - Accord de distribution SPOT-Image et Orblmage
- **Ikonos**
 - 1 m Panchro (stéréo)
 - 4 m XS (stéréo)
 - Exactitude de position ~3 m
- **Problèmes :**
 - Champ limité
 - Taille des images
 - Corrections géométriques (précision des amers, dévers)
 - Exploitation stéréoscopique
 - Ne résout pas les confusions radiométriques / fonctionnelles
 - Trop haute résolution pour certains thèmes (variabilité radiométrique)



ORBVIEW 3



IKONOS 2



IKONOS Image Series : Beijing - 8 novembre 1999



Restitution 3D

- **Exploitation stéréoscopique à la résolution de 1 m (Panchro)**
 - Photogrammétrie satellitaire
- **Extraction de gabarits urbains**
 - Couplés aux classifications de l'occupation du sol :
 - Volumes construits (« DSM »)
 - Indices d'urbanisme 3D (COS)
- **Applications multiples :**
 - Amélioration des classifications par un critère géométrique (non radiométrique) : ex. bâti / route
 - Topo-climatologie urbaine
 - Visibilité et télécommunications (dont GPS)
- **Difficultés :**
 - Très haute résolution (cf. supra)
 - Photogrammétrie satellitaire
 - SIG 3D



*Reconstitution des volumes superposée
au modèle numérique de terrain
(simulation)
« DSM » : Digital Surface Model*



- Applications actuelles

- Peu d'applications traditionnelles peuvent exploiter les spécifications des données (2^{aires}) télédétectées :
 - Qualité de position :
 - Précision : pixel ~5 m
 - Exactitude : 1/2 pixel (avec orthorectification)
 - Qualité sémantique :
 - Précision : 3-5 catégories de bâti selon densité et/ou disposition 2D
 - Exactitude : 60-90 % selon la catégorie
- Ex. **planification physique**
Qualité du même ordre que les autres données (climatologie, avant-projets d'infrastructures, etc.)
- Ex. **risques naturels en milieu densément peuplé** : combinaison radar (interférométrie) - optique !

- Des applications nouvelles sont imaginées, plus par les producteurs de données 2^{aires} que par les utilisateurs finaux :
 - Pas de véritable substitution de données mais une **substitution de démarche**
- Ex. **délimitation des agglomérations**
Exploitation d'une classification simple, de la continuité bâtie, de l'unité spatiale constante (pixel), de la topologie des affectations, etc.
- Ex. **mise à jour de cartes à moyenne échelle**
Interprétation directe de l'image (composition colorée ou simple classification), sans requérir une révision complète et une généralisation des cartes de base

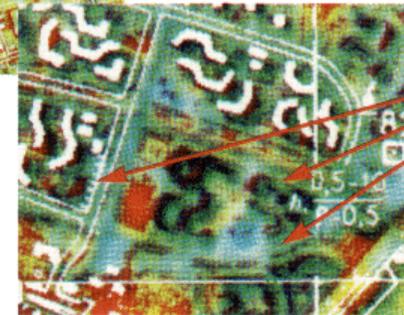
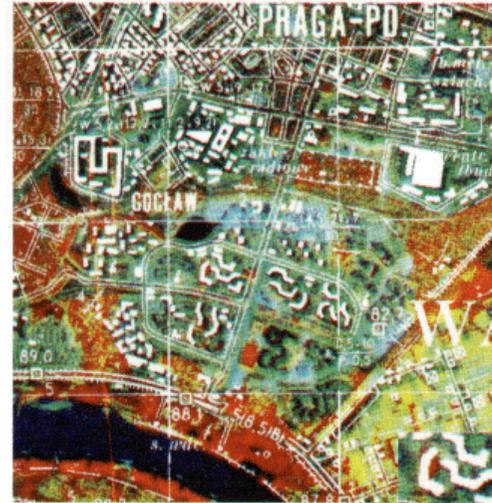
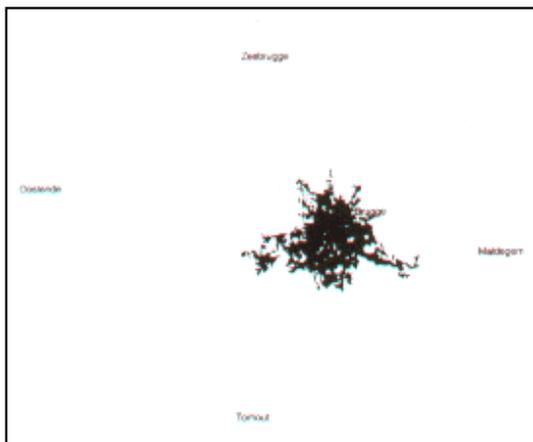
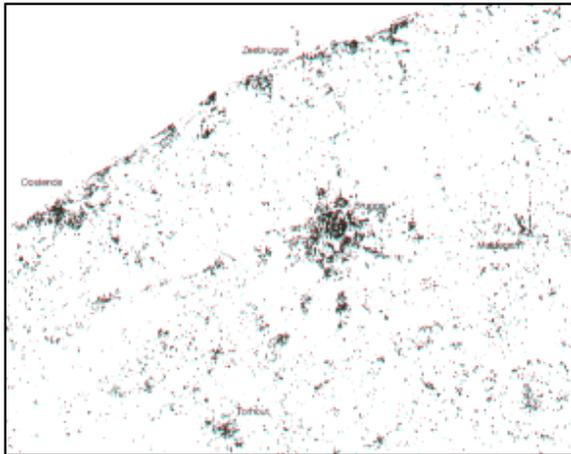
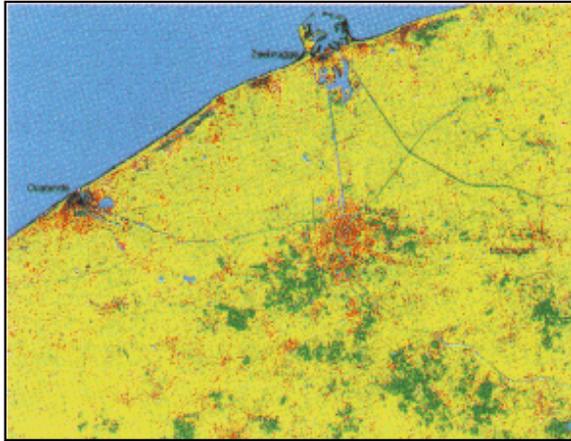
*N.B. applications mettant en œuvre des SIG
Ne demandent pas la très haute résolution
Profiteraient d'une meilleure sémantique*



Téledétection urbaine

JP Donnay - C. Collet - C. Weber - 1999

4. Caractère opérationnel Applications actuelles



Zones d'habitation
à mettre à jour

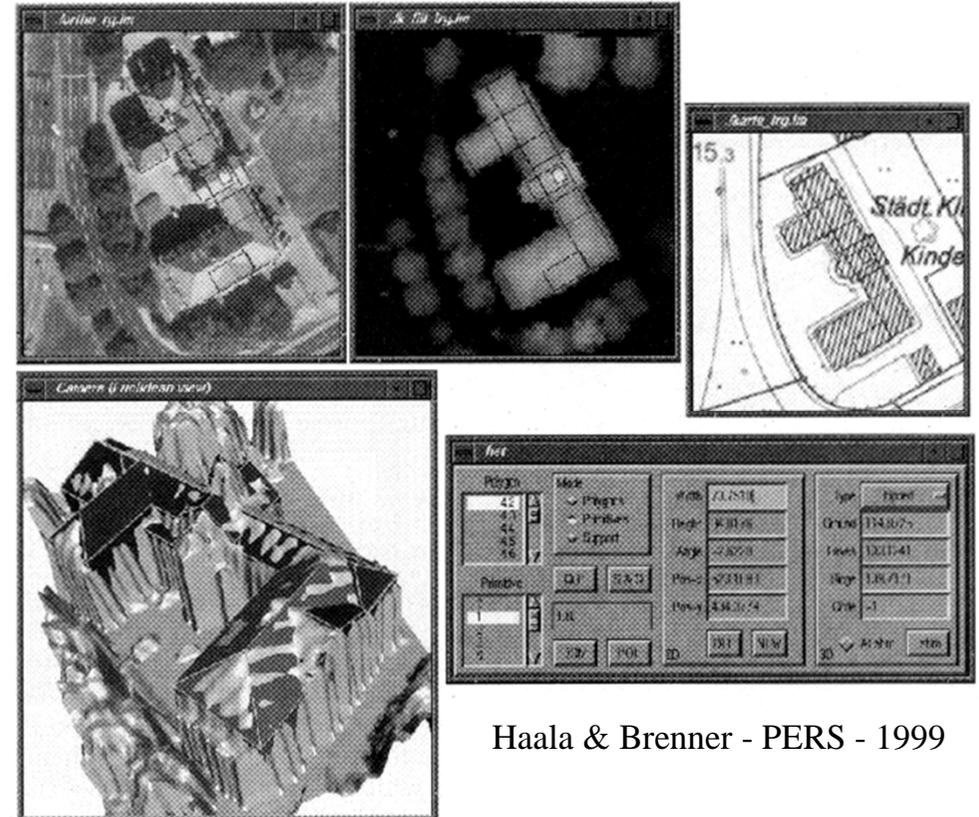




- Applications futures

- Exploitation de la très haute résolution et de la 3^e dimension :
 - Substitution de données plutôt que substitution de démarche
- Ex. Photogrammétrie satellitaire
Substitution des photos aériennes à moyenne et grande échelle
Mesure des longueurs, surfaces et volumes des objets urbains
Démarche classique, mais logiciels nouveaux !
 - Amélioration des applications actuelles de télédétection
- Ex. Restitution (automatique ou assistée) des réseaux (voirie), des bâtiments, etc.
Démarche initiée en télédétection classique, mais sur des données plus précises (et 3D)

*N.B. Requièrent la très haute résolution
mais pas une grande précision sémantique*



Haala & Brenner - PERS - 1999

*Outil logiciel de reconstitution
des volumes bâtis*



TABLE 1. URBAN/SUBURBAN ATTRIBUTES AND THE MINIMUM REMOTE SENSING RESOLUTIONS REQUIRED TO PROVIDE SUCH INFORMATION

Attributes	Minimum Resolution Requirements		
	Temporal	Spatial	Spectral
Land Use/Land Cover			
L1-USGS Level I	5–10 years	20–100 m	V-NIR-MIR-Radar
L2-USGS Level II	5–10 years	5–20 m	V-NIR-MIR-Radar
L3-USGS Level III	3–5 years	1–5 m	Pan-V-NIR-MIR
L4-USGS Level IV	1–3 years	0.25–1 m	Panchromatic
Building and Property Infrastructure			
B1-building perimeter, area, height and cadastral information (property lines)	1–5 years	0.25–0.5 m	Pan-Visible
Transportation Infrastructure			
T1-general road centerline	1–5 years	1–30 m	Pan-V-NIR
T2-precise road width	1–2 years	0.25–0.5 m	Pan-V
T3-traffic count studies (cars, airplanes, etc.)	5–10 min	0.25–0.5 m	Pan-V
T4-parking studies	10–60 min	0.25–0.5 m	Pan-V
Utility Infrastructure			
U1-general utility line mapping and routing	1–5 years	1–30 m	Pan-V-NIR
U2-precise utility line width, right-of-way	1–2 years	0.25–0.6 m	Pan-Visible
U3-location of poles, manholes, substations	1–2 years	0.25–0.6 m	Panchromatic
Digital Elevation Model (DEM) Creation			
D1-large scale DEM	5–10 years	0.25–0.5 m	Pan-Visible
D2-large scale slope map	5–10 years	0.25–0.5 m	Pan-Visible
Socioeconomic Characteristics			
S1-local population estimation	5–7 years	0.25–5 m	Pan-V-NIR
S2-regional/national population estimation	5–15 years	5–20 m	Pan-V-NIR
S3-quality of life indicators	5–10 years	0.25–30 m	Pan-V-NIR
Energy Demand and Conservation			
E1-energy demand and production potential	1–5 years	0.25–1 m	Pan-V-NIR
E2-building insulation surveys	1–5 years	1–5 m	TIR
Meteorological Data			
M1-weather prediction	3–25 min	1–8 km	V-NIR-TIR
M2-current temperature	3–25 min	1–8 km	TIR
M3-clear air and precipitation mode	6–10 min	1 km	WSR-88D Radar
M4-severe weather mode	5 min	1 km	WSR-88D Radar
M5-monitoring urban heat island effect	12–24 hr	5–30 m	TIR
Critical Environmental Area Assessment			
C1-stable sensitive environments	1–2 years	1–10 m	V-NIR-MIR
C2-dynamic sensitive environments	1–6 months	0.25–2 m	V-NIR-MIR-TIR
Disaster Emergency Response			
DE1-pre-emergency imagery	1–5 years	1–5 m	Pan-V-NIR
DE2-post-emergency imagery	12 hr–2 days	0.25–2 m	Pan-V-NIR-Radar
DE3-damaged housing stock	1–2 days	0.25–1 m	Pan-V-NIR
DE4-damaged transportation	1–2 days	0.25–1 m	Pan-V-NIR
DE5-damaged utilities, services	1–2 days	0.25–1 m	Pan-V-NIR



- Dans les pays de vieille urbanisation, la télédétection urbaine n'est devenue une réalité qu'avec l'avènement des images à **haute résolution** (SPOT XS/P 1986)
- Pour passer de l'identification à l'analyse, la télédétection urbaine a mis plus de 12 ans, **en exploitant et en participant à la mise au point de nouvelles méthodes de traitement**
- La télédétection urbaine n'a montré un caractère opérationnel que grâce :
 - au développement de **démarches originales pour résoudre des applications inédites**
 - au recours à des **techniques éprouvées** (ex. IIAO) pour garantir une **qualité sémantique suffisante**
 - à l'incorporation des données télédéteectées dans des **SIG**
 - à son adoption par d'importantes **organisations internationales** qui ont montré le chemin (ex. EUROSTAT)

Alors que sont disponibles les **premières images à résolution métrique**, on perçoit **2 perspectives** à la télédétection urbaine:

- **Conforter son caractère opérationnel** en valorisant l'aspect sémantique sans besoin d'une résolution record :
 - ex. présentation à l'utilisateur final des données secondaires (pré-traitées et validées à des échelles données), banalisées parmi les couches d'information des SIG
- Pousser au maximum l'**exploitation des résolutions les plus fines**, sans besoin d'une grande précision sémantique, pour s'identifier à un domaine de la photogrammétrie numérique :
 - ex. paysages urbains virtuels, DSM..
- **Les données requises, les traitements utilisés et les objectifs poursuivis sont distincts : on peut s'attendre à voir se développer deux formes de télédétection urbaine en parallèle**



Téledétection urbaine

JP Donnay - C. Collet - C. Weber - 1999

Merci de votre attention...