

Sous la direction de  
Jean-Marie M. Dubois

Jean-Paul Donnay

André Ozer

François Boivin

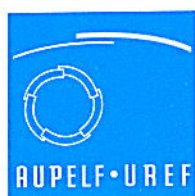
André Lavoie

TÉLÉDÉTECTION  
DES MILIEUX URBAINS  
ET PÉRIURBAINS

Actes des Journées scientifiques  
de Liège  
1995

# AS

**actualité scientifique**



AUPELF

## 2

# Études multi-échelles : application aux agglomérations du nord-ouest de l'Europe

MARC BINARD, ISTVAN NADASDI, MICHEL LAMBINON, DENIS MARCHAL et JEAN-PAUL DONNAY

*Service universitaire de recherches fondamentales et appliquées en cartographie et en études spatiales (Laboratoire SURFACES), Université de Liège, 7, place du 20 Août, B4000 Liège, Belgique;*

*téléphone: +32 (4) 366-51-13; télécopieur: +32 (4) 366-56-93;*

*CÉ: surfaces@geo.ulg.ac.be; W3 : <http://www.geo.ulg.ac.be>*

### Résumé

L'objectif de cette recherche est de déterminer et d'évaluer le niveau d'observation du phénomène urbain en fonction des résolutions spatiale et spectrale de différents capteurs satellitaires. Les capteurs utilisés sont AVHRR de NOAA, MSS et TM de Landsat, HRV de SPOT et les photographies KVR1000 de KOSMOS. Les échelles sont, dans l'ordre, continentale, régionale et locale. La méthodologie de base est semblable pour les différents niveaux d'observation, mais le résultat des traitements est fonction des échelles utilisées. La procédure comprend les corrections géométriques des images, les classifications dirigées en 6 classes pour AVHRR, en 9 classes pour MSS et en 12 classes pour TM et HRV et le calcul du potentiel urbain. Le potentiel urbain permet de déterminer les axes d'urbanisation, les limites du périmètre urbain ainsi que le réseau des villes à différentes échelles. Les zones d'influence des villes sont déterminées par les polygones de Thiessen pondérés, tandis que les grandes unités paysagères sont obtenues par classification automatique des images des différents potentiels. L'extraction des axes d'urbanisation est plus efficace avec les données issues de capteurs à haute résolution spatiale tandis que la faible résolution est plus performante pour limiter les zones d'influence des villes, parfois aussi pour la hiérarchie du réseau des villes et surtout pour l'analyse des paysages et des écosystèmes qui les composent.

## 1. Introduction

L'étude des agglomérations peut être réalisée à différents niveaux car l'analyse urbaine peut s'intéresser aux relations entre les agglomérations (notion de réseau subcontinental ou régional) ou être plutôt focalisée (échelle locale) sur une agglomération particulière et sa zone d'influence (région polarisée). Les images utilisées pour cette étude proviennent d'AVHRR de NOAA, de MSS et TM de Landsat, de HRV de SPOT et de KVR1000 de KOSMOS. Dans le présent article, on tente de préciser les méthodes et les capteurs satellitaires les mieux adaptés aux différentes approches.

## 2. Corrections géométriques

Les corrections géométriques réduisent les déformations spatiales et amènent l'image dans une projection cartographique. Elles permettent l'utilisation des informations extraites des images dans d'autres applications de même que leur confrontation avec d'autres sources.

Suivant le capteur utilisé et selon l'échelle d'analyse, les points de contrôle sont sélectionnés à partir de cartes ou de fichiers vectoriels existants. En effet, pour les petites échelles, des fichiers tels que ceux utilisés initialement par le Département américain de la défense (*Digital Chart of The World*) font pratiquement partie du « domaine public » et sont donc disponibles à faible coût. De manière opérationnelle, on remarque que ce sont les images AVHRR qui doivent subir les plus importantes corrections, notamment en bordure du champ de balayage (BONN et ROCHON, 1992). À un autre niveau d'analyse, les images à haute résolution géométrique nécessiteraient une orthorectification qui prenne en compte les distorsions dues au relief. De manière à ne pas altérer la signature spectrale des pixels, c'est la méthode du plus proche voisin qui est utilisée pour le rééchantillonnage.

## 3. Classification

Les modes d'occupation du sol ont été obtenus par classification dirigée utilisant la méthode du maximum de vraisemblance. Les zones d'entraînement ont été sélectionnées, d'une part, en utilisant l'information des cartes et, d'autre part, en interprétant visuellement les images. Suivant le niveau d'analyse, le nombre de classes passe de 6 à 9, puis à 12, respectivement pour AVHRR, MSS et TM ou HRV.

Les limites de l'agglomération physique (morphologique) peuvent être dérivées de la classification par généralisation du masque urbain à l'aide des techniques de la morphologie mathématique. Ensuite, le masque est adapté aux limites statistiques existantes en fonction notamment de l'emprise du masque dans chaque entité statistique ou commune pour définir les agglomérations politiques (VANDER HAEGEN et PATTYN, 1979; DONNAY, 1994).

## 4. Potentiel

Le modèle du potentiel est dérivé de la loi de la gravitation universelle et peut aussi être interprété en termes de moments statistiques. L'idée fondamentale est que l'intensité d'interaction entre deux corps est proportionnelle aux masses en présence et inversement proportionnelle à leur éloignement. Au départ, il convient d'admettre les postulats suivants (MEINKE, 1970) :

- il existe nécessairement des interactions entre tous les corps caractérisés par leur masse et par leur position dans l'espace;
- la probabilité d'interaction est la même entre toutes les paires de corps;
- l'intensité est fonction inverse des distances qui les séparent.

On peut exprimer le potentiel total comme la somme du potentiel  $P_i$  (intensité de l'interaction entre le pixel  $i$  et l'ensemble des autres pixels  $j$ ) et de l'autopotential (potentiel propre de la masse du pixel  $i$ ) :

$$P_i = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \frac{v_j m_j^{a_j}}{d_{ij}^b} + \frac{v_i m_i}{\frac{1}{2} \sqrt{s_i} \pi}$$

où

$P_i$  = potentiel du pixel  $i$ ;

$n$  = nombre de pixels;

$v_j$  = coefficient de pondération de la masse du pixel  $j$ ;

$m_j$  = masse du pixel  $j$ ;

$a_j$  = exposant de la masse du pixel  $j$ ;

$d_{ij}$  = distance entre le pixel  $i$  et les pixels  $j$ ;

$b$  = exposant de la distance entre le pixel  $i$  et les pixels  $j$ ;

$s_i$  = surface du pixel  $i$ .

Remarquons que, dans la pratique, les exposants les plus utilisés ainsi que la masse du pixel ont une valeur unitaire. De plus, théoriquement, le calcul devrait être effectué sur toute l'image mais, pratiquement, on utilise une fenêtre de convolution de grande taille, généralement de forme circulaire. Cette simplification n'altère pas le sens du calcul car la valeur du potentiel est fonction inverse de la distance.

L'image du potentiel est celle d'un champ puisque le calcul du potentiel transforme la distribution discrète des modalités de la classification en une surface statistique continue. Les valeurs du potentiel sont généralement exprimées en pourcentage du potentiel maximum observé.

Il est logique de regrouper les classes d'affectation du sol appartenant à un même type d'écosystème ou composante paysagère, soit, par exemple, dans l'ordre d'artificialisation décroissante : écosystème urbain (*urbs*), écosystème agricole (*ager*), écosystème pâturage (*saltus*) et écosystème forestier (*sylva*).

Les surfaces de potentiel facilitent la description et l'analyse des macrostructures urbaines en fonction des modèles circulaires, sectoriels et multinucléaires proposés respectivement par BURGESS (1925), HOYT (1939) ainsi que par HARRIS et ULLMAN (1945). Plus intéressante est la perspective d'étude de la répartition des villes dans le sens de la théorie des lieux centraux de CHRISTALLER (1933) ou des recherches d'interrelations entre le concept de potentiel et la théorie de développement économique polarisé de PERROUX (1959).

## 4.1. Potentiel urbain

Afin d'analyser correctement le phénomène urbain, la taille de la fenêtre de convolution doit, d'une part, contenir suffisamment de pixels pour ne pas être incluse dans une seule catégorie d'affectation urbaine et, d'autre part, elle doit être suffisamment petite pour bien étudier la limite ville/périphérie. Quelle que soit l'échelle d'étude, une taille double de celle de la plus petite dimension prise par la classe d'habitat le plus dense au sein de l'agglomération donne généralement de bons résultats.

### 4.1.1. Pondération à utiliser pour calculer le potentiel urbain

La classification issue de l'image AVHRR présente une classe urbaine unique, tandis que les classifications de MSS et TM ou HRV présentent respectivement 3 et 4 types de densités urbaines.

Le calcul du potentiel urbain est réalisé en pondérant chacune des classes urbaines et en affectant un poids nul à toutes les autres classes. L'utilisation de poids pour chacune des classes de densité d'habitat implique le passage d'une échelle ordonnée à une échelle quantitative. Dans la pratique, les poids utilisés tentent de tenir compte le mieux possible du C.O.S. (coefficient d'emprise), voire de l'I.O.S. (indice d'occupation du sol). Ce dernier requiert l'évaluation du nombre de niveaux des constructions (DONNAY et NADASDI, 1992).

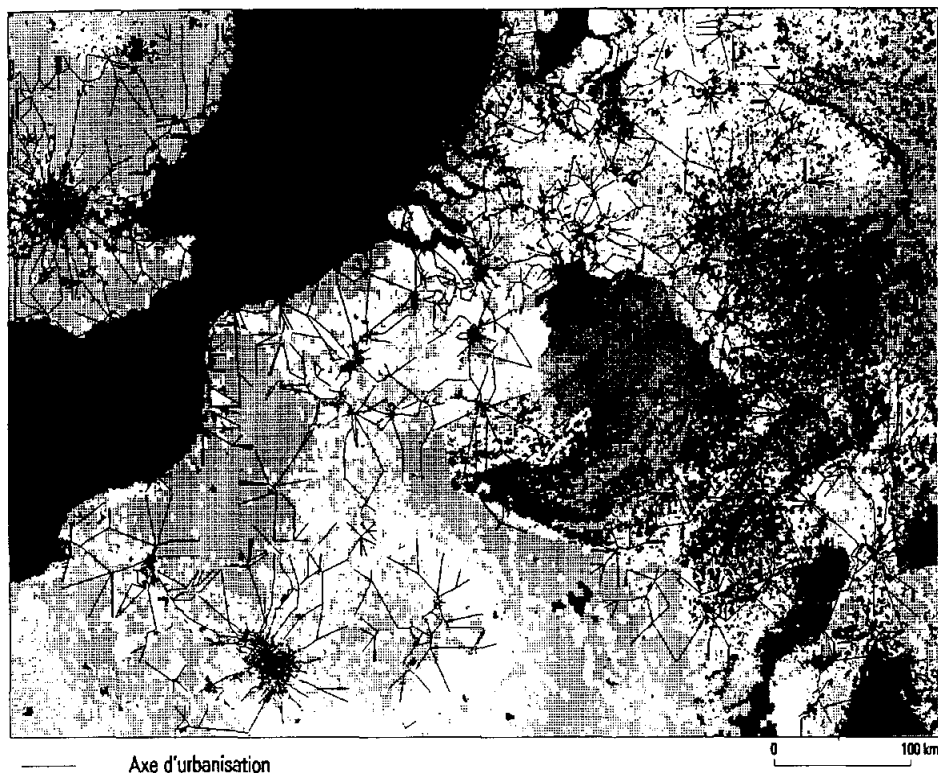
### 4.1.2. Extraction des axes d'urbanisation

Le champ du potentiel est assimilable à un relief thématique dont chaque point peut être interprété comme une cote d'altitude qui exprime une échelle de hiérarchie. Les gradients maxima et minima définissent en chaque point de la surface respectivement les directions de la plus grande pente et de l'isopotential. Les lignes de crête, assimilables à des arcs, définissent les axes et les bandes d'urbanisation. Les noeuds, points de rencontre des arcs, sont assimilés aux pôles urbains. Les lignes de thalweg peuvent être interprétées comme des limites entre des systèmes urbains voisins.

L'extraction manuelle des axes d'urbanisation offre l'avantage de fournir un réseau consistant et une bonne hiérarchisation des axes mais elle est très exigeante en travail. De plus le résultat varie d'un interprète à l'autre. Une alternative est d'extraire automatiquement ces lignes de crête en utilisant les outils disponibles pour le traitement des modèles hydrographiques. Si la recherche de lignes de crête n'existe pas dans le module utilisé, il suffit d'inverser le relief thématique et de rechercher le réseau d'écoulement. Les thalwegs définis sur ce modèle inversé correspondent aux axes urbains. L'inconvénient principal de cette approche automatique est que la hiérarchisation des axes est difficile à gérer. La démarche peut être faite aux différents niveaux d'analyse (fig. 1 et 2).

### 4.1.3. Seuillage du potentiel

Par seuillage du modèle, il est possible de proposer une définition du périmètre d'agglomération (NADASDI *et al.*, 1988; DONNAY and THOMSIN, 1994). Cette démarche peut être réalisée de manière précise à l'échelle locale. Au niveau régional ou subcontinental, le seuillage permet de retenir les pôles urbains correspondant à l'échelle d'étude.



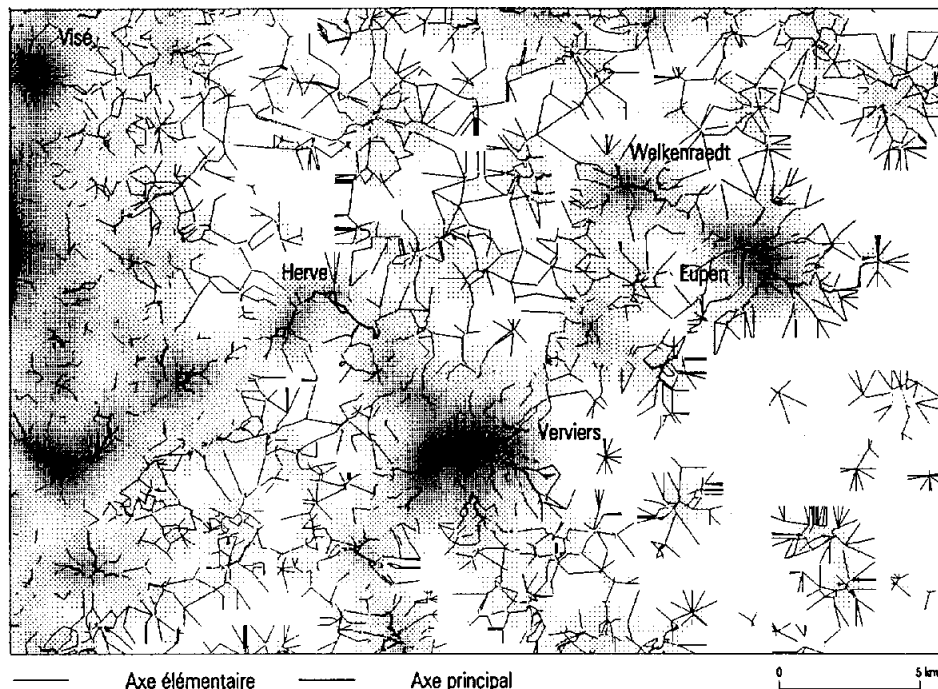
**Figure 1.** Structure de l'urbanisation de l'Europe du Nord-Ouest : extraction automatique des axes d'urbanisation au départ d'une surface de potentiel urbain obtenue au moyen d'une fenêtre de 75 km sur la classification d'une image AVHRR de NOAA des 14 et 18 mai 1992

#### 4.1.4. Détermination des zones d'influences

Le principe de base repose sur l'hypothèse qu'il existe une relation directe entre le potentiel urbain, le potentiel d'habitat et celui de la population. La position géographique de chacun des pôles retenus lors du seuillage du potentiel correspond à celle de chacun des maxima locaux. La segmentation de l'espace peut être réalisée en fonction du seul critère de proximité par les polygones de Thiessen ou en fonction de ce critère pondéré par l'importance des pôles (DONNAY, 1994). Le coefficient de pondération est fonction du maximum du potentiel de chacun des pôles (fig. 3).

#### 4.2. Potentiels agricole, fourrager et forestier

Comme pour le potentiel urbain, le nombre de classes intervenant dans le calcul des potentiels agricole, fourrager et forestier est fonction de l'échelle d'étude. Les facteurs de pondération à utiliser lorsqu'il y a plusieurs classes peuvent être fonction de la phytomasse



**Figure 2.** Structure de l'urbanisation de l'espace Liège-Verviers-Eupen : extraction automatique des axes d'urbanisation au départ d'une surface de potentiel urbain obtenue au moyen d'une fenêtre de 2 km sur la classification d'une image TM de Landsat du 16 mai 1989

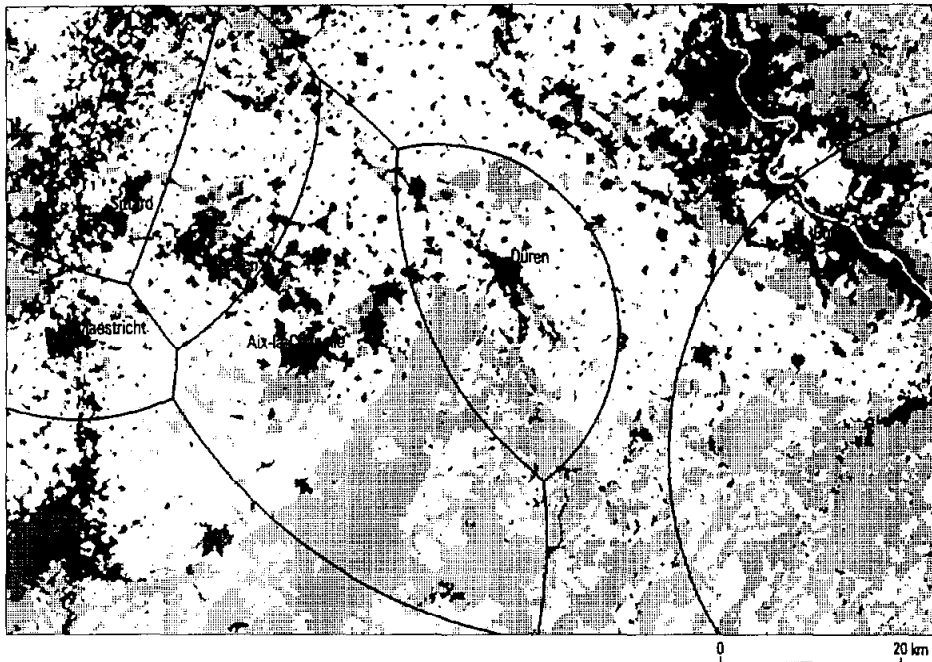
fraîche estimée (NADASDI *et al.*, 1991), de l'intérêt écologique ou de la valeur économique.

La taille de la fenêtre de convolution doit être adaptée au phénomène observé. Elle est généralement beaucoup plus grande que celle utilisée pour le potentiel urbain.

### 4.3. Détermination des unités paysagères

Au niveau régional, les différents potentiels calculés à partir d'une classification d'une image MSS permettent de segmenter l'espace en unités éco-paysagères. La classification des canaux synthétiques de potentiel par l'algorithme « *K means* » permet notamment d'obtenir des zones isophènes correspondant à des unités éco-paysagères. L'ajout d'informations planimétriques et toponymiques confère aux documents des qualités cartographiques.

La figure 2-4 (voir cahier couleur) représente les grandes unités éco-paysagères de l'espace Meuse et Rhin. Le réseau urbain dans ses aspects géographiques et hiérarchiques est restitué à partir du potentiel urbain. Celui-ci transcrit aussi les régions polarisées de l'espace. Les forts gradients de potentiel mettent en évidence des zones de transition. Les régions naturelles ou homogènes sont rendues par les autres composantes de l'image synthétique des potentiels (NADASDI, 1995).



**Figure 3.** Hinterlands dans l'Euregio Meuse-Rhin : modèle d'hinterland calculé au départ d'une surface de potentiel urbain engendrée à partir d'une classification d'une image MSS de Landsat du 29 août 1975

## 5. Conclusion

Sur le tableau 1, on a synthétisé les potentialités d'utilisation urbaine des images satellitaires.

Les images NOAA permettent principalement de déterminer les zones d'influence des agglomérations à une échelle subcontinentale et secondairement de mettre en évidence les axes d'urbanisation.

À l'échelle régionale, les images MSS révèlent les axes d'urbanisation et les zones d'influence. Une autre potentialité est l'élaboration de « croquis géographiques » présentant les grandes unités paysagères par classification des différents potentiels.

À l'échelle locale, les images TM et HRV (XS) permettent de déterminer les limites des agglomérations et les axes d'urbanisation que ce soit par utilisation du potentiel ou par interprétation visuelle. Par contre, les images KVR1000 et les images HRV (P) ne possèdent qu'un seul canal et ne peuvent donc pas être classées. Il faut donc pratiquer une interprétation visuelle pour mettre en évidence les limites des agglomérations et les axes d'urbanisation.

Quelle que soit l'échelle, la généralisation engendrée par l'utilisation du potentiel permet de bien appréhender le phénomène urbain même si la classification initiale présente localement quelques imperfections. Il faut souligner que le potentiel ne doit pas être considéré uniquement comme une fonction d'agrégation mais aussi comme un filtre spécifique offrant de nombreuses potentialités d'application dans le domaine du traitement d'images.



**Tableau 1.** Adéquation de différents capteurs satellitaires à l'étude des agglomérations

Capteurs	Échelles	Produits dérivés du potentiel				Interprétation visuelle	
		1	2	3	4	1	2
AVHRR (NOAA)	Sub-continentrale	-	+/-	+	-	-	-
MSS (Landsat)	Régionale	+/-	+	+	+	+/-	+/-
TM (Landsat) HRV-XS (SPOT)	Régionale et locale	+	+	+/-	+	+	+
HRV-P (SPOT) KVR1000 (KOSMOS)	Locale	-	-	-	-	+	+

- 1 Limites d'agglomération
- 2 Axes et pôles d'urbanisation
- 3 Zone d'influence et hiérarchie
- 4 Unités éco-paysagères

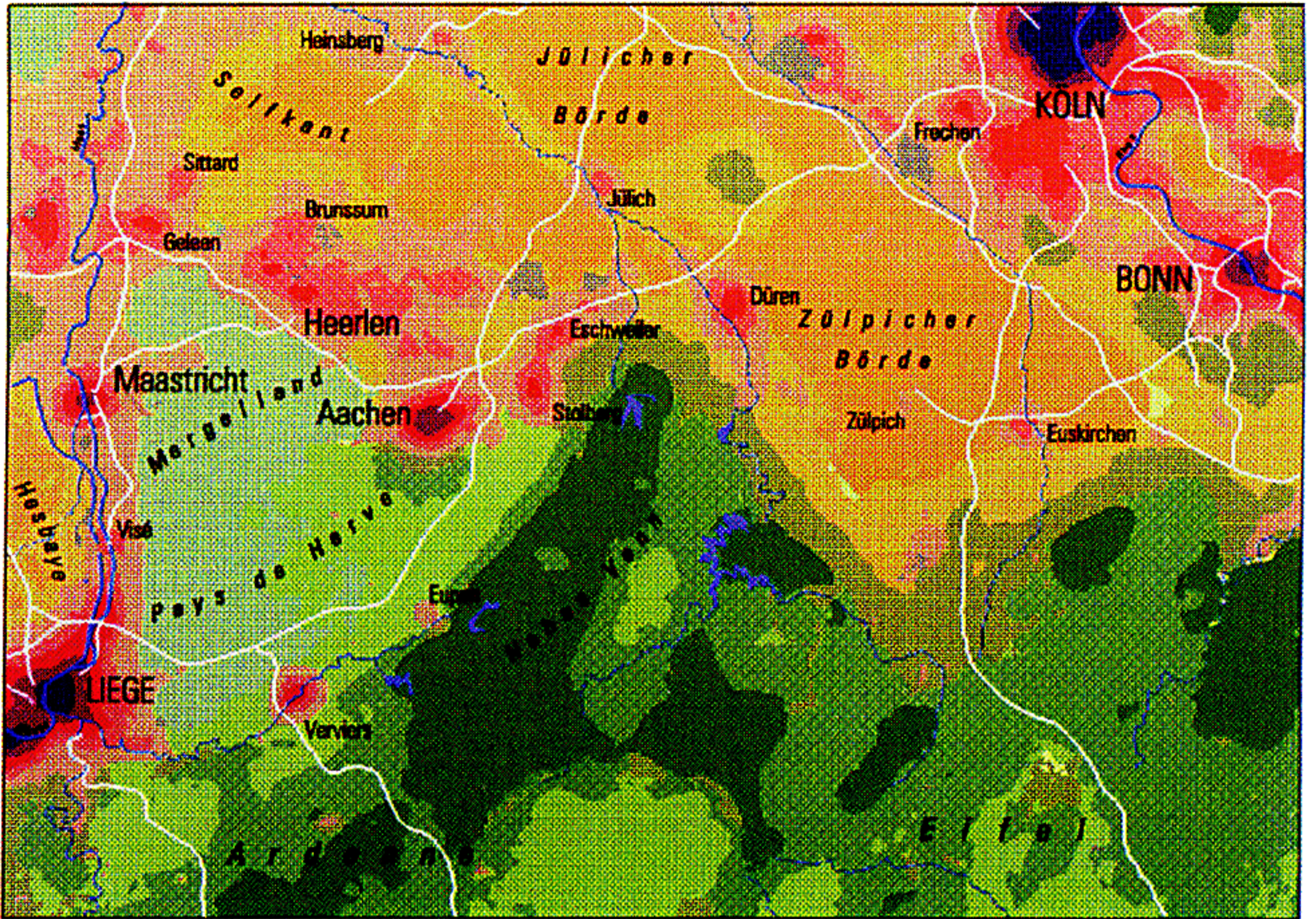
La recherche se poursuit selon deux axes : la justification statistique des paramètres intervenant dans les modèles de transformation et l'intégration de plusieurs échelles dans le cadre d'un seul système pour examiner le réseau urbain dans sa complète hiérarchie.

## 6. Références

- BONN, F. et ROCHON G. 1992. Précis de télédétection, Volume 1, Principes et méthodes. Presses de l'Université du Québec / AUPELF, Québec, 485 p.
- BURGESS, E.W. 1925. The growth of the city : an introduction to a research project. *in* R.E. Park, E.W. Burgess and R.D. Mckenzie (réd.). *The City*, Chicago University Press, Chicago, *passim* (reprinted in 1967).
- CHRISTALLER, W. 1933. *Die Zentralen Orte in Süddeutschland*, Fischer, Jena. Édition en langue anglaise traduite par BASKIN, C. 1966. *Central Places in Southern Germany*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 331 p.
- DONNAY, J.-P. 1994. Agglomérations morphologiques et fonctionnelles, l'apport de la télédétection urbaine. *Acta Geographica Lovaniensia*, vol. 34, p. 191-199.
- DONNAY, J.-P. et NADASDI, I. 1992. Usage des données satellitaires de haute résolution en modélisation urbaine: application à l'agglomération de Maastricht. *Acta Geographica Lovaniensia*, vol. 33, p. 659-669.
- DONNAY, J.-P. and THOMSIN, L. 1994. Urban remote sensing and statistics: Prospective Research and Applications, New tools for spatial analysis. *Proceedings of the workshop*, Lisbon, 18-20 November, 1993, p. 137-145.
- HARRIS, C.D. and ULLMAN, E.L. 1945. The nature of Cities. *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, CCXLII, November 1945, p. 7-17.

*Études multi-échelles : application aux agglomérations du nord-ouest de l'Europe*

- HOYT, H. 1939. Structure and growth of the residential neighbourhoods in America cities. Washington DC, Government Printing Office, *passim*.
- MEINKE, D. 1970. Gravitations und Potentialmodelle, *Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung. Akademie für Rumforschung und Landesplanung, Gebrüder Jänecke Verlag*, vol. 1, Hannover, p. 1048-1060.
- NADASDI, I. 1995. Inventaires biophysiques de l'occupation du sol et pratique des plans d'organisation du territoire : expériences de l'Euregio Meuse-Rhin, de la Wallonie et du Grand-Duché de Luxembourg. *Jornadas tecnicas sobre Sistemas de Information Géografica et Télédeteccion espacial aplicados a la ordenacion del territorio y el medio ambiente, Centro de estudios ambientales, Vitoria-Gasteiz , Espagne*, p. 171-178.
- NADASDI, I., BAUDOT, Y. et DONNAY, J.-P. 1988. Une carte-pilote d'affectation du sol à Liège et des produits dérivés issus des traitements satellitaires SPOT. *Les cahiers de l'urbanisme*, n° 4, p. 51-60.
- NADASDI, I., BINARD, M. et DONNAY, J.-P., 1991. Transcription des usages du sol par le modèle de potentiel. *Mappemonde*, vol. 3, p. 27-31.
- PERROUX, F. 1959. Note sur la notion de pôle de croissance. *Économie appliquée*, vol. 8, p. 307-320.
- VAN DER HAEGEN, H. et PATTYN, M. 1979. Les régions urbaines belges. *Bulletin de statistique*, n° 3, Institut national de statistique, Bruxelles, p. 235-250.



**ÉCO-PAYSAGES URBAINS**

- urbanisation de très forte intensité
- urbanisation de forte intensité
- urbanisation de moyenne intensité
- urbanisation de faible intensité
- urbanisation de plus faible intensité

**ZONES D'ATTEINTE À L'ENVIRONNEMENT**

- modifications du relief : exploitations à ciel ouvert

**ÉCO-PAYSAGES AGRICOLES**

- paysages agricoles
- paysages agricoles de transition
- paysages herbagers
- paysages herbagers de transition

**ÉCO-PAYSAGES FORESTIERS**

- paysages forestiers
- paysages forestiers de transition
- paysages forestiers et herbagers

- non classé

**PLANIMÉTRIE RAPPORTÉE**

- plans d'eau
- cours d'eau
- autoroutes

0 25 km

Figure 2-4. Région Rhin-Meuse : les grandes unités éco-paysagères. Les unités ont été déterminées par classification du « colorama » de potentiels d'une image MSS du 29 août 1975