

PARTIE III

**Statistiques urbaines**



# 21

## **La production rapide d'informations démographiques et économiques par sondage aréolaire sur une image satellitaire : application à trois villes de pays en développement (Quito, Bogota et Yaoundé)**

FRANÇOISE DUREAU

*Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM), Ap.aereo 94647, Bogota 8, Colombie; téléphone : +57 (1) 212-92-04; télécopieur : +57 (1) 212-92-04; CÉ : fdureau@uniandes.edu.co*

### **Résumé**

Dans les villes des pays en développement, les techniques traditionnelles de la collecte démographique (recensements exhaustifs et enquêtes par sondage sur liste) se révèlent peu efficaces et difficiles à mettre en œuvre. Nous avons développé une méthode de production rapide d'informations démographiques et socio-économiques adaptée aux caractéristiques de l'urbanisation et aux moyens disponibles dans ces pays. Il s'agit d'un sondage aréolaire à 2 degrés (îlots et ménages), où l'image satellitaire sert à la définition et à la stratification de la base de sondage, ainsi qu'à la sélection d'un échantillon d'îlots répartis sur l'ensemble de la ville. Les trois exemples d'application (Quito, 1987; Bogota, 1993; Yaoundé, 1993) témoignent du caractère opérationnel et de l'efficacité de la méthode pour la production rapide de données de nature démographique, mais aussi économique, dans les villes des pays en développement ne disposant d'aucune base de sondage classique. Ils montrent également les modalités concrètes de sa mise en œuvre dans des contextes contrastés tant du point de vue des caractéristiques des villes étudiées, que des informations exogènes susceptibles d'optimiser le plan de sondage aréolaire stratifié à deux degrés sur une image satellitaire. Apportant des éléments de réponse aux problèmes posés par l'observation des populations des villes des pays en développement et l'ensemble des tâches pouvant être réalisé sur un micro-ordinateur, les sites potentiels d'application sont très nombreux.

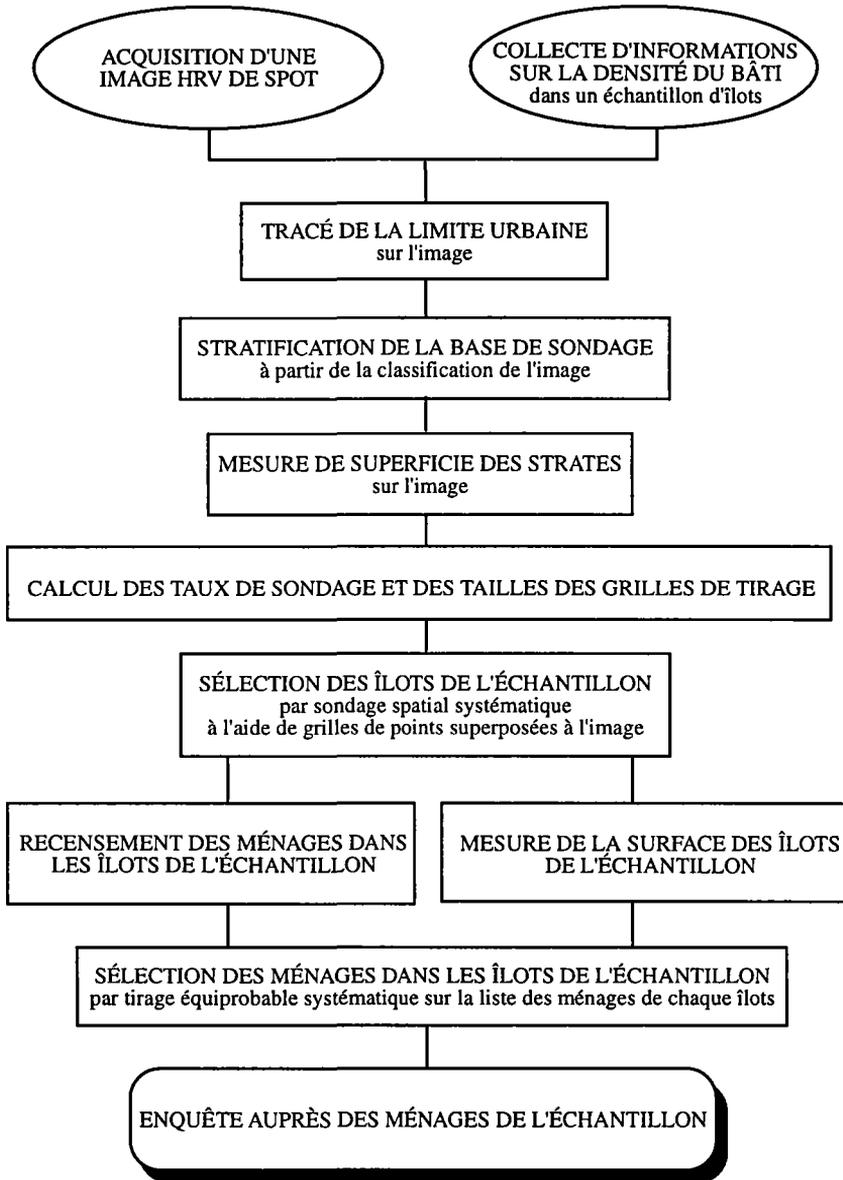
## 1. Introduction

Dans les villes à croissance rapide du Tiers monde, la périodicité et la durée d'exploitation des recensements remettent largement en cause l'intérêt de cette source d'information pour le suivi des populations. Quant aux enquêtes par sondage, l'absence de base de sondage complète et à jour hypothèque le plus souvent leur réalisation et leur fiabilité. La rapidité des transformations urbaines et les déficiences de l'information de base rendent les populations de ces villes particulièrement difficiles à observer. Cette situation conduit à rechercher des systèmes d'observation originaux, adaptés aux formes d'urbanisation ainsi qu'aux contextes locaux d'information, et de moyens humains et financiers. C'est dans cette perspective que s'inscrit la recherche commencée en 1985 par une équipe de l'ORSTOM, et donnant lieu au développement d'une méthode opérationnelle de production rapide de données sur les populations urbaines intégrant l'information apportée par les satellites à haute résolution (DUREAU *et al.*, 1989). L'idée centrale est d'utiliser l'image satellitaire comme base de sondage et d'exploiter l'information sur l'occupation du sol fournie par l'image pour stratifier un plan de sondage aréolaire permettant de sélectionner un échantillon pour une enquête auprès des ménages. Les recherches effectuées de 1985 à 1987 dans les domaines de l'analyse des images satellitaires et des sondages aréolaires en milieu urbain ont permis de définir l'ensemble de la chaîne d'opérations nécessaire à la mise en œuvre d'un sondage probabiliste à partir d'images satellitaires et adaptée à la production rapide de données sur les populations des villes des pays en développement. Après une description générale de la méthode et des principales étapes à suivre dans le cas d'une ville disposant uniquement d'une image HRV de SPOT, trois exemples d'application montrent les modalités concrètes de sa mise en œuvre dans des contextes contrastés tant du point de vue des caractéristiques des villes étudiées (Quito, Bogota, Yaoundé), que des informations exogènes susceptibles d'optimiser le plan de sondage aréolaire stratifié à deux degrés sur une image satellitaire.

## 2. Description de la méthode de sondage aréolaire sur image satellitaire

Dans une ville ne disposant d'aucune base de sondage classique, la méthode développée par l'ORSTOM permet de sélectionner de façon rigoureuse, à partir d'une image HRV de SPOT, un échantillon de ménages, autorisant la production rapide de données relatives aux populations urbaines. La méthode d'échantillonnage consiste en un sondage aréolaire stratifié à 2 degrés : au 1<sup>er</sup> degré, les aires géographiques sélectionnées sont des îlots (pâtés de maisons); au 2<sup>e</sup> degré, les unités enquêtées sont des ménages sélectionnés au sein de l'échantillon d'îlots. L'image satellitaire sert : 1) à la définition de la base de sondage : la limite urbaine est tracée sur l'image, à partir de l'information fournie par celle-ci; 2) à la stratification de la base de sondage : on améliore la précision des estimations démographiques en utilisant une information sur la morphologie des quartiers pour stratifier la base de sondage; une stratification selon la densité du bâti extraite d'une image HRV permet un gain de précision de 30 à 40 %; 3) à la sélection d'un échantillon d'îlots géographiquement répartis sur l'ensemble de la ville : en procédant à un tirage spatial systématique à l'aide d'une grille de points superposée à l'image satellitaire, on assure une bonne répartition géographique des îlots de l'échantillon sur l'ensemble de la ville; cette technique améliore de 20 à 30 % la précision des résultats.

Ce plan de sondage combine donc les avantages bien connus du sondage aréolaire et de la stratification (ARDILLY, 1994) et ceux apportés par le tirage spatial systématique des îlots. Sa mise en œuvre suppose de réaliser un certain nombre d'opérations (fig. 1), que nous allons examiner maintenant.



**Figure 1.** Les étapes de sélection de l'échantillon

## 2.1. Délimitation de la base de sondage sur une image satellitaire

Délimiter la base de sondage consiste à tracer la limite externe de la ville étudiée. Dans le cas où la base de sondage doit nécessairement correspondre à des limites administratives, le travail de délimitation de la base de sondage consiste uniquement à reporter le tracé de ces limites, connues par un document cartographique quelconque, sur l'image satellitaire. Par contre, si l'on adopte une définition physique de la ville, ce qui permet d'appréhender ainsi l'ensemble de l'agglomération y compris les quartiers périphériques illégaux, deux solutions peuvent être mises en œuvre pour délimiter la zone urbanisée :

- si l'on ne dispose que du film de l'image HRV (P), le tracé est réalisé sur un tirage photographique de cette image à une échelle comprise entre le 1: 30 000 et le 1: 15 000, en utilisant les teintes de gris de l'image, l'agencement général, la structure et la texture qui renseignent sur le degré de végétation ou de minéralisation (construction) et le type de tissu urbain; la limite est tracée là où se termine une zone continue d'espace bâti, en s'efforçant de suivre une limite (naturelle ou artificielle) visible sur l'image et sur le terrain;

- si l'on dispose, en plus, d'une bande magnétique HRV (XS), il est possible de réaliser un traitement numérique simple pour aider à la détermination de la limite urbaine, qui sera établie, comme précédemment, sur un tirage du canal P. L'objet de ce traitement est de classer l'image selon l'indice de végétation et le degré d'hétérogénéité des valeurs radiométriques (écart-type local); faisant l'hypothèse que la zone urbaine correspond à un espace à dominante minérale et fortement hétérogène, on peut ainsi isoler, numériquement, la zone urbanisée (fig. 21-2, voir cahier couleur).

## 2.2. La stratification de la base d'après une classification de l'image satellitaire

Parmi les stratifications actuellement réalisables à partir d'images satellitaires, la plus efficace pour une enquête socio-démographique correspond à une classification selon la densité du bâti. Cette classification, dirigée, est basée sur la recherche de la meilleure régression entre la densité du bâti observée sur le terrain dans une centaine d'îlots et l'indice de végétation calculé sur l'image; les coefficients de la régression sont ensuite appliqués à l'ensemble de l'image. Après avoir seuillé ce néocanal en 3 à 6 classes, on dispose d'une classification de la zone urbanisée en fonction de ces niveaux de densité du bâti.

Une fois en possession de cette classification, il s'agit d'élaborer la stratification proprement dite, c'est-à-dire de délimiter des zones le plus homogènes possibles au regard des différentes classes de densité du bâti. Le zonage est effectué sur un tirage à grande échelle du canal P, en s'efforçant de suivre des frontières, naturelles ou artificielles, afin de ne pas couper les îlots qui constitueront l'unité de base de l'échantillon au premier degré (fig. 21-3, voir cahier couleur). Enfin, on mesure les zones ainsi délimitées, la superficie des strates étant une information nécessaire pour l'extrapolation des résultats de l'enquête.

## 2.3. Sélection de l'échantillon d'îlots

Le premier travail consiste à déterminer le nombre total d'îlots à enquêter et leur répartition dans les strates. Ce calcul nécessite de connaître la surface totale de chaque strate (mesurée sur image satellitaire), et la surface moyenne des îlots de la strate (connue d'après les relevés de terrain). Le tirage de l'échantillon d'îlots s'effectue ensuite indépendamment dans chaque strate à l'aide d'une grille placée sur le tirage à grande échelle du canal P, la maille de la grille étant calculée pour respecter le taux prévu. Pour obtenir la surface de la

maille de la grille de tirage dans chaque strate, il suffit de diviser la surface totale de la strate par le nombre d'îlots à sélectionner, d'où l'on déduit la taille de la maille. Sont sélectionnés les îlots correspondant aux points d'intersection de la grille (fig. 21-4, voir cahier couleur). Lorsque le type de quartier, et donc le degré de lisibilité de la voirie sur l'image rendent impossible une identification directe des îlots sur l'image, ce travail est réalisé directement sur le terrain avec le superviseur chargé de la zone.

#### **2.4. Recensement des ménages, mesure de la surface des îlots et sélection des ménages à enquêter**

Dans un premier temps, les superviseurs effectuent un recensement des ménages dans chaque îlot de l'échantillon : sur le terrain, ils établissent un schéma simplifié de l'îlot sur lequel figurent les renseignements nécessaires à son identification par l'enquêteur, le dessin des bâtiments, le nombre de ménages dans chacun des bâtiments et la numérotation des ménages. Après le recensement des ménages, le superviseur effectue la mesure de la surface de l'îlot, information indispensable pour l'extrapolation des données de l'enquête. À l'aide d'un décimètre, d'un clinomètre et d'une boussole, le superviseur établit un croquis mentionnant les angles et les longueurs de chaque segment droit délimitant l'îlot ainsi que leur pente; la surface est ensuite calculée, informatiquement ou manuellement, à partir de ce schéma.

Dans chacun des îlots de l'échantillon, on enquête un nombre constant de ménages ( $n_1$ , de l'ordre de 5 à 10), sélectionnés par tirage systématique sur la liste des ménages de l'îlot. Si un îlot compte moins de  $n_1$  ménages, l'enquête est exhaustive, auprès de tous les ménages identifiés sur le croquis de l'îlot.

### **3. Modalités de mise en œuvre du plan de sondage dans des contextes contrastés**

La démarche qui vient d'être décrite ne correspond qu'à l'une des modalités d'application de la méthode : il s'agit là de son application intégrale, correspondant au cas d'une ville ne disposant, pour la sélection d'un échantillon de ménages, que de la seule image HRV. Les trois exemples d'application de la méthode présentés ci-après, dont les principales caractéristiques figurent sur le tableau 1, témoignent du caractère opérationnel et de l'efficacité de la méthode pour la production rapide de données de nature démographique, mais aussi économique, dans les villes d'Amérique du Sud et d'Afrique. Ils montrent également les modalités concrètes de sa mise en œuvre, variables selon les informations exogènes susceptibles d'optimiser le plan de sondage aréolaire stratifié à deux degrés décrit au chapitre précédent.

#### **3.1. Quito : sélection de l'échantillon à partir de la seule image HRV**

Suite à deux années de développement méthodologique, une première application en vraie grandeur de la méthode s'imposait à la fin de 1987 pour vérifier son efficacité en termes de rapidité et de précision et pour évaluer les coûts de sa mise en œuvre. Un double objectif thématique a été assigné à l'enquête : d'une part satisfaire les besoins des décideurs en information démographique de base et, d'autre part, faire progresser la compréhension de

Tableau 1. Principales caractéristiques des trois applications de la méthode

Lieu	Quito (Équateur)	Bogota (Colombie)	Yaoundé (Cameroun)
Date	Novembre 1987	Octobre 1993	Janvier 1993
Thème de l'étude	Caractéristiques démographiques de base et migration	Formes de mobilité spatiale de la population et leur impact	Secteur informel
Univers d'étude	Ensemble de l'agglomération de Quito	11 zones de l'aire métropolitaine de Bogota : 7 dans le District et 4 communes périphériques	Ensemble de l'agglomération de Yaoundé
Système d'enquêtes	Enquête démographique à passage unique	2 enquêtes : 1: Démographique, deux passages à un an d'intervalle 2: Anthropologique sur un sous-échantillon de ménages de 1	2 phases : 1: Enquête emploi auprès des ménages 2: Enquête auprès des unités de production informelles
Structure plan de sondage	Sondage aréolaire stratifié à 2 degrés (îlots, ménages)	Sondage aréolaire stratifié à 3 degrés (îlots, logements, ménages)	Sondage aréolaire stratifié à 2 degrés (îlots, ménages)
Image satellitaire utilisée	Image HRV P et XS: juin 86	Image HRV P: janvier 93 et XS: octobre 92	Image HRV XS: février 92
Autres informations utilisées		Photos aériennes 1993 (1: 30 000) Cartes 1985 (1: 10 000) Indicateurs démographiques 1985 Stratification socio-éco. 1990	Mosaïque photographies aériennes 1991 (1: 15 000)
Base de sondage	Image P (1: 15 000)	Image P (1: 15 000) Dans 3 zones d'enquête: cartes	Mosaïque photographies aériennes
Limite urbaine	Images P et XS (analyse visuelle et classif.)	Images P et XS (analyse visuelle et classif.)	Mosaïque photo. et image XS (analyse visuelle et classif.)
Stratification	5 strates de densité du bâti (issues de la classif.image)	2 ou 3 strates (issues de l'image) Dans 5 zones d'enquête : 2 ou 3 strates	3 strates de densité du bâti (issues de la classif.image)
Échantillon enquêté	3 157 ménages, dans 426 îlots	1 031 ménages, dans 212 îlots	1 961 ménages, dans 331 îlots
Coût et durée	90 000 FF 9 mois	150 000 FF 10 mois	190 000 FF 10 mois

la dynamique démographique de la capitale équatorienne en focalisant l'enquête sur la question des migrations. En effet, en 1987, les institutions publiques intervenant sur le développement et la gestion de la ville ne disposaient que des résultats publiés du recensement de 1982, désactualisés et sans aucune désagrégation géographique. De plus, en dépit de l'importance du phénomène, l'information sur la migration vers et au sein de Quito était particulièrement déficiente.

Le processus de sélection de l'échantillon a reposé sur l'application intégrale de la méthode, en suivant les différentes étapes telles qu'elles sont décrites à la section 2. Afin de satisfaire la justification première de cette application, d'ordre méthodologique, pour l'échantillonnage, nous n'avons utilisé que l'image HRV (scènes P et XS de 1986) et les données sur la densité du bâti recueillies à la même date sur le terrain dans près de 200 îlots. L'échantillon enquêté comprend 3 157 ménages résidant dans 426 îlots répartis sur l'ensemble de la ville de Quito, y compris dans ses extensions illégales les plus récentes, puisque la limite de l'agglomération retenue pour le sondage correspond à un critère physique issu de l'image.

Cette première application a confirmé l'intérêt de la méthode, permettant de sélectionner de façon rigoureuse, à partir de la seule image HRV, un échantillon pour une enquête démographique. Outre la satisfaction des objectifs proprement méthodologiques, l'enquête a mis à disposition des ministères et de la Mairie une information actualisée et localisée sur les caractéristiques démographiques de la population quiténienne, les conditions d'occupation du logement, l'activité économique et la migration. La plupart des résultats produits correspondent au découpage en districts, division administrative utilisée par la Mairie pour ses opérations de planification et de gestion. En effet, avec cette méthode, il est possible de produire des résultats en fonction de différentes divisions géographiques, la seule limite résidant dans le degré de désagrégation autorisé par la taille de l'échantillon. Dans un contexte d'intensification sensible de l'intervention municipale, se traduisant par la définition en 1988 d'une série de projets d'envergure (création d'un District métropolitain, nouvelle réglementation urbaine, etc.), l'enquête est venue combler un manque important en matière d'informations socio-démographiques.

### **3.2. Bogota : des modalités d'application variables selon les quartiers**

Bogota, métropole andine de près de 6 millions d'habitants est actuellement soumise à de rapides et profondes mutations. Une analyse fine des différentes formes de mobilité spatiale de la population (navettes, mobilités temporaires et définitives) et des transformations qu'elles entraînent dans les différentes zones de l'aire métropolitaine constitue un élément clef pour la compréhension de la dynamique démographique, et donc de la gestion, de la capitale colombienne. C'est à cet objectif qu'est consacré le programme de recherche mené par l'ORSTOM et l'Université des Andes depuis 1992. Cette recherche repose, entre autres, sur une enquête démographique à deux passages auprès de 1 000 ménages, réalisée dans certains quartiers de l'aire métropolitaine. Compte tenu de la problématique de l'étude, du budget disponible et des impératifs statistiques pour obtenir une représentativité acceptable des informations sur la mobilité, nous avons choisi de faire porter notre recherche sur 7 quartiers inclus dans le district de Bogota proprement dit, et sur 4 communes de la périphérie métropolitaine. Dans chacune de ces 11 zones qui composent l'univers de l'enquête statistique, l'échantillon de ménages a été sélectionné par application d'un plan de sondage aréolaire à 3 degrés (îlots, logements, ménages) sur une image satellitaire.

Toutes les images enregistrées à notre demande par SPOT Image étant affectées par la présence de nuages, nous avons dû retenir deux scènes enregistrées à 4 mois d'intervalle. Leur combinaison permet d'avoir une observation de l'ensemble de l'aire métropolitaine : une image P enregistrée en janvier 1993, et une image XS enregistrée en octobre 1992. Ce sont donc ces deux scènes qui ont fait l'objet des traitements décrits aux sections 2.1 et 2.2. Outre l'information satellitaire, nous nous sommes efforcés d'utiliser les informations exogènes susceptibles d'optimiser la sélection de l'échantillon.

Ainsi, pour les données sur la densité du bâti nécessaires à la classification de l'image, la collecte sur le terrain a été remplacée par une mesure directe sur une mosaïque de photographies aériennes de 1993. En effet, bien que la couverture géographique et les restrictions de diffusion de ce document interdisaient son utilisation comme base de sondage, nous avons pu néanmoins le consulter ponctuellement pour relever la densité du bâti sur une centaine d'îlots du District. Pour la stratification, dans cinq zones d'enquête situées dans le District, nous avons combiné la classification de l'image selon la densité du bâti, avec des données d'origine statistique et administrative, disponibles au niveau du secteur cartographique (division spatiale regroupant une vingtaine d'îlots) : d'une part, quatre indicateurs issus du recensement de 1985, relatifs à la taille du ménage, le type de logement et la migration, et, d'autre part, la stratification socio-économique en 6 niveaux établie par les services du District pour l'application d'une tarification différentielle des services publics. Enfin, dans trois zones d'enquête du District affectées par des nuages sur l'image P et correspondant à des quartiers consolidés n'ayant pas connu de changement dans le réseau de voirie au cours des dix dernières années, nous avons procédé à la sélection des îlots sur des cartes au 1: 10 000 du recensement de 1985.

À Bogota, les modalités d'application de la méthode ont donc varié selon les zones d'étude. Dans les municipalités périphériques ne disposant d'aucune information statistique, administrative ou cartographique, la sélection de l'échantillon a reposé intégralement sur la seule image HRV. Dans les quartiers consolidés du district de Bogota, bénéficiant d'un meilleur contexte d'informations exogènes, le degré d'utilisation de l'image a varié selon le type de quartier, sa dynamique actuelle et la qualité de l'image à notre disposition. Mais, il importe de souligner que, dans aucune des 11 zones d'étude, la sélection de l'échantillon n'aurait pu être réalisée sans le recours à l'image HRV. Alors que les mairies de Bogota et des communes périphériques, dont plusieurs ont un rythme d'accroissement supérieur à 8 % par an, étaient tenues d'élaborer leurs plans de développement locaux au cours du premier semestre 1995, le dernier recensement disponible datait de 1985. Dans ce contexte, on conçoit aisément l'intérêt que représentent les résultats de l'enquête, publiés en juin 1994, même s'ils ne concernent que certains quartiers de Bogota et des communes voisines.

### **3.3. Yaoundé : utilisation d'une image HRV et d'une couverture aérienne**

Dans l'économie des pays du Tiers monde, le secteur informel joue un rôle essentiel. Les limites de l'approche traditionnelle ont conduit au développement d'une stratégie alternative pour mesurer l'activité de ce secteur non plus à partir d'une appréhension directe des établissements, mais à partir d'une enquête auprès des ménages. La méthode « consiste à sélectionner un échantillon d'unités de production à partir d'informations tirées d'une enquête auprès des ménages et portant sur l'activité des individus (phase 1). À ces unités de production on applique alors un questionnaire spécifique sur l'activité informelle (phase 2) » (COGNEAU et ROUBAUD, 1992). Bien évidemment, la qualité statistique des informations sur l'économie informelle ainsi produites est entièrement dépendante de la première phase, c'est-à-dire de l'enquête auprès des ménages.

Pour l'enquête sur le secteur informel à Yaoundé en 1992 (réalisée en coopération par la Direction de la statistique et de la comptabilité du Cameroun, et le groupement scientifique DIAL), le recensement de la population, déjà vieux de 5 ans, ne pouvait être utilisé comme base de sondage étant donné le rythme d'accroissement (7 % par an) de la capitale camerounaise, et c'est donc la méthode de sondage aréolaire qui a été retenue pour la sélection de l'échantillon de l'enquête auprès des ménages. Deux sources d'information ont été utilisées : une couverture aérienne de 1991 et une image HRV (XS) enregistrée trois mois plus tard, en 1992. Par rapport à la démarche décrite à la section 2, le canal P de HRV a été remplacé par la mosaïque de photographies aériennes dont disposait l'équipe. C'est sur cette mosaïque que les limites de l'agglomération et de chacune des trois strates (définies à partir des résultats des traitements appliqués à l'image XS : croisement indice de végétation normalisé et écart-type local calculé sur le canal 2; classification en niveaux de densité du bâti) ont été tracées et que l'échantillon d'îlots a été sélectionné. Comme à Bogota, la classification en niveaux de densité du bâti a reposé non sur une information recueillie sur le terrain, mais sur une mesure effectuée directement sur la mosaïque dans 31 îlots. Cette classification constitue l'unique information utilisée pour la stratification de Yaoundé. En effet, l'ancienneté et la non disponibilité des fichiers informatiques du recensement y rendaient impossible toute amélioration de la stratification issue de l'image par une donnée exogène telle que le taux de travailleurs indépendants dans la population active, solution *a priori* prometteuse suggérée par COGNEAU et ROUBAUD (1992) pour améliorer la stratification dans de futures enquêtes de ce type.

L'enquête emploi, consacrée aux conditions d'activité des ménages, a été appliquée à 1961 ménages, sélectionnés d'après ce plan de sondage aréolaire. Cette première phase a permis d'identifier 1 096 unités de production informelles, auxquelles a été appliquée la phase 2 de l'enquête, centrée sur les conditions de production et les résultats économiques des établissements. L'expérience de Yaoundé confirme l'intérêt de cette approche du secteur informel, que l'on considère le degré de couverture de ce secteur, ou la richesse des analyses permises par la mise en relation de deux unités centrales dans le fonctionnement du secteur informel, le ménage et l'unité de production. En terme de coûts, de délais ou de précision des estimateurs, la méthode de sondage aréolaire appliquée à Yaoundé se révèle tout à fait efficace : utiliser la télédétection aérienne et spatiale pour la sélection de l'échantillon de ménages permet ainsi d'étendre le bénéfice de cette nouvelle approche du secteur informel, aux villes ne disposant d'aucune base de sondage traditionnel pour la sélection d'un échantillon de ménages.

#### **4. Conclusion**

Source d'information sur l'occupation du sol, l'imagerie satellitaire peut aussi jouer un rôle déterminant dans le processus de production d'une information ayant trait au domaine du « social ». Avec la méthode présentée ici, que celle-ci soit appliquée uniquement sur une image HRV, ou en relation avec des informations exogènes, il est ainsi possible de produire rapidement des informations démographiques et économiques quantifiées et spatialisées sur l'ensemble d'une agglomération, y compris ses quartiers périphériques illégaux. Si cette méthode est d'ores et déjà opérationnelle, elle est aussi, bien évidemment, perfectible. La multiplication des applications dans des contextes urbains divers, et l'intégration des innovations que connaîtra la télédétection urbaine, notamment celles relatives à la hauteur et à l'agencement des bâtiments, contribueront à améliorer la solution actuellement proposée.

Avec des méthodes simples telles que celle décrite dans cet article, ne réclamant pas d'investissement lourd en formation ou en équipement, la télédétection satellitaire peut constituer le pivot de l'établissement de diagnostics approfondis des dynamiques spatiales et sociales des villes du Tiers Monde. Dans le contexte actuel d'urbanisation accélérée du monde en développement, mais aussi de constat d'échec de l'urbanisme occidental, de ses modes de diagnostic comme de ses modes d'action, c'est en termes de renouvellement de l'approche de la ville qu'il importe d'appréhender ce nouvel outil de connaissance du milieu urbain.

## **5. Références**

- ARDILLY, P., 1994. Les techniques de sondage. Éditions Technip, Paris, 389 p.
- COGNEAU, D. et ROUBAUD, F. 1992. Utilisation de la télédétection pour l'élaboration du plan de sondage d'une enquête sur le secteur informel : le cas de Yaoundé. Stateco n° 71, Paris, INSEE, p. 5-26.
- DUREAU, F., BARBARY, O., MICHEL, A. et LORTIC, B. 1989. Sondages aréolaires sur image satellite pour des enquêtes socio-démographiques en milieu urbain. Manuel de formation, Collection Didactiques, ORSTOM, Paris, 40 p.

## 22

### **Pour une autre approche de la délimitation urbaine : application à Strasbourg (France)**

CHRISTIANE WEBER, JACKY HIRSCH et AZIZ SERRADJ

*Laboratoire Image et Ville (URA 902 CNRS), Institut de géographie, Université de Strasbourg 1, 12, rue Goethe, 67000 Strasbourg, France;*  
*téléphone : +33 (3) 88-45-65-21; télécopieur : +33 (3) 88-45-33-88*  
*CÉ : chris@lorraine.u-strasbg.fr*

#### **Résumé**

L'espace urbain voire l'unité urbaine est actuellement particulièrement délicat à délimiter, tant le concept lui-même est en mutation. Surface, réseau ou nœud de commutation, les tentatives de normalisation des définitions possibles ne sont guère aisées. L'objectivité peut cependant résider dans l'identification de l'empreinte au sol de l'entité urbaine et de son évolution. Les données satellitaires peuvent offrir une vision objective de cette marque et aider à l'élaboration de quelques principes de définition. L'application sur Strasbourg proposée ici, a été envisagée en complémentarité avec celle testée par une équipe de Liège. À partir d'une image panchromatique du HRV de SPOT, un cheminement méthodologique mêlant opérateur de texture sur fenêtre circulaire et morphologie mathématique, a permis l'obtention d'une enveloppe de l'espace urbain. Ce résultat, appelé zone morphologique urbaine (ZMU), a été analysé au travers de diverses méthodes de comparaison, notamment des courbes et des silhouettes de densité. Confrontée à l'agglomération des communes définie officiellement par l'organisme statistique français, l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), la réalité physique de l'extension urbaine a mis en évidence d'une part les effets de tropisme liés au choix des données initiales et d'autre part la variabilité qui est associée aux critères d'agglomération tant au niveau de la distance d'agglomération qu'à celui des populations concernées.

## 1. Introduction

Dans le cadre de l'action de recherche partagée « Reconnaissance des formes urbaines : transfert méthodologique Nord-Sud », les différentes équipes (Strasbourg, Liège et Fribourg) ont orienté leurs travaux plus précisément en fonction de deux objectifs : la discrimination de l'espace urbain et sa délimitation.

Le second objectif correspond aux préoccupations actuelles de nombreux organismes nationaux ou internationaux, pour qui acquérir les possibilités de comparer l'ensemble des sites urbains (notamment en Europe), en tenant compte de critères communs, représente un enjeu important pour l'avenir. Les multiples définitions et les critères divergents qui s'appliquent dans l'un ou l'autre pays, ne permettent pas une appréhension commune de l'objet urbain.

« Quelle que soit la position théorique choisie, il reste pour les statisticiens, la difficulté de trouver des limites nettes pour identifier des entités territoriales cohérentes et pertinentes que ce soit en termes de seuil de taille, dans le continuum rural-urbain, dans l'espace, aux périphéries des villes ou encore dans le temps puisque les expressions démographiques et spatiales de l'urbanisation se modifient continuellement » (PUMAIN *et al.*, 1991).

Or les enjeux sont importants au moment où la compétition se fait plus vigoureuse pour attirer des activités et des investissements. Le libéralisme aidant, la ville et sa région tendent à se comporter comme un système entrepreneurial où, à chaque point positif de statistique, correspond un point d'investissement. Savoir se situer au sein d'un réseau de villes et pouvoir se positionner pour drainer appuis et moyens deviennent sous l'égide du principe de subsidiarité, un nouvel aspect de la culture urbaine.

Cet article présente une partie des investigations menées sur la délimitation urbaine au sein du groupe, chaque équipe appliquant des directions différentes pour définir les limites urbaines des agglomérations : Liège œuvrant à partir d'une classification dirigée, par exemple. Le cheminement proposé ici, qui correspond à une application uniquement fondée sur la mise en évidence de l'enveloppe urbaine à partir d'une image panchromatique du HRV de SPOT, a aussi été appliqué à Genève et à Liège afin de déterminer les conditions de transférabilité de la méthode. Les opérateurs de texture puis de morphologie mathématique utilisés ont permis son individualisation et la constitution de la zone morphologique urbaine en tenant compte de plusieurs critères : la distance d'agglomération mais aussi les choix possibles quant à la place des infrastructures dans ce processus. Une série de cartes permet aussi de rendre compte de la variabilité des résultats selon les critères de population et de surface utilisés.

## 2. Définition de l'agglomération urbaine

Les organismes chargés de fournir des renseignements démographiques ou économiques ont donc pour tâche délicate la collecte des informations à fournir aux divers intéressés, si possible sous des formes comparables. Or, pour ce faire, il faut définir les villes selon des critères reconnus tant spatiaux que sociaux. Cependant, si les villes européennes peuvent se caractériser par un développement radioconcentrique commun, elles ne sont pas pour autant comparables. Administrativement les définitions sont très disparates : une ville en France a au moins 2 000 résidents, une unité urbaine est un regroupement statistique, une communauté urbaine est le résultat d'une décision politique, une zone de peuplement industrielle et urbaine (ZPIU) est un agglomérat d'activités résidentielles et de production.

Les critères utilisés pour rendre opérationnel quelque chose d'aussi fondamental que le concept d'agglomération, deviennent rapidement sujets à des critiques. Parce que la société continue son évolution, la pertinence des représentations associées aux critères et aux aires considérées est soumise à des fluctuations temporelles. Une des grandes difficultés est de prendre en compte la ville, objet intrinsèquement dynamique, avec des outils nécessairement statiques, par besoin de stabilité et d'économie de moyens, alors que les processus de changement exigeraient une adaptation quasi-interactive. En Europe, seuls les Pays-Bas révisent la trame des municipalités presque chaque année.

Plusieurs études ont donc tenté de définir des descripteurs communs permettant d'établir une première classification (PUMAIN *et al.*, 1991) :

- des localités urbaines définies par des limites administratives;
- des agglomérations urbaines (ou unités urbaines) plus ou moins étendues, centrées sur un noyau urbanisé bâti en continu et correspondant ou non, à des entités; elles se caractérisent par un continuum urbain-rural, sans qu'une limite franche ne puisse être désignée;
- des régions urbaines où un ou plusieurs centres jouent le rôle d'attracteur au sein de leur zone d'influence, drainant population, activités, souvent définie par les commutations journalières;
- des conurbations ou régions urbaines polynucléaires qui s'égrènent sur des étendues bâties en continuité, mais avec plusieurs centres qui résultent de la réunion de plusieurs agglomérations ou régions urbaines.

À partir de là, deux principes peuvent être mis en avant pour prendre en compte la définition de l'agglomération et de sa population : la détermination administrative des bases territoriales et la caractérisation spatiale de celles-ci.

Dans le premier cas, les disparités sont très importantes, que ce soit en fonction de la surface ou de la population résidante. Si beaucoup de pays européens ont procédé à des remaniements de maillages municipaux, quelques-uns n'ont favorisé que des regroupements mineurs, même si la tendance à une adaptation entre espace de vie quotidienne et gestion territoriale est de plus en plus présente. Les seuils de population définissant la notion d'urbain sont très variables.

Dans le second cas, les changements induits par le développement des infrastructures et des moyens de transport ont entraîné la dissociation entre territoire municipal (limites administratives) et la ville ou l'agglomération urbaine de population. La détermination de cette entité est dès lors définie en fonction de l'aire de bâti continu existant autour d'un centre. Elle est le creuset privilégié d'interactions entre la population et les activités diverses possibles. Cette aire de bâti continu est, bien entendu, aussi caractérisée par une population (au minimum entre 50 à 1 000 habitants selon les pays) et par une distance minimale de jonction précisant la continuité spatiale (celle-ci varie de 50 à 200 m) (PUMAIN *et al.*, 1991)

Une étude financée par EUROSTAT (Office statistique des communautés européennes) (EUROSTAT, 1993), a permis de mettre en évidence l'intérêt d'une approche de délimitation de l'agglomération urbaine à partir de données satellites. Les organismes statistiques nationaux participant à cette expérimentation ont pu comparer les résultats, acquis par des procédures automatiques de traitement d'image couplées à des manipulations au sein d'un système d'information géographique (SIG), aux moyens employés habituellement comme l'interprétation de photographies aériennes. Les applications ont toutes été faites à partir d'images multibandes fusionnées ou non avec des données panchromatiques du HRV de SPOT. La zone morphologique urbaine (ZMU), obtenue à l'aide de classifications dirigées, correspond à la surface bâtie en continu qui a été retenue après traitement. Dans le cadre de nos travaux communs, l'équipe de Liège (Laboratoire SURFACES) a appliqué

son modèle de potentiel à partir d'un tel résultat. Nous avons, pour notre part, testé l'extraction de la ZMU à partir de traitement de texture et de morphologie urbaine sur un canal HRV (P). Cette approche a aussi été appliquée à Liège et Genève.

### **3. Extraction de la ZMU de l'agglomération strasbourgeoise**

L'utilisation du canal panchromatique du capteur HRV permet d'identifier l'espace urbain en tenant compte des ruptures entre le bâti continu et son hinterland et des éléments qui structurent cet espace bâti par les motifs engendrés (zones homogènes, ruptures anthropiques ou naturelles, etc.). Les possibilités d'extraction des structures urbaines à partir de ces données paraissent suffisamment opérationnelles pour que seule l'empreinte au sol ou tache urbaine soit retenue dans notre démarche et non pas uniquement la différenciation spatiale liée aux catégories d'occupation du sol.

L'image HRV (P) du 15-09-1986 (KJ : 50-252; niveau : 2B) (fig. 1) utilisée a permis d'individualiser la surface urbaine et ainsi d'en déterminer l'enveloppe. Cet objectif se combine aussi à la nécessité de comparaison spatiale et statistique entre les résultats obtenus, tout d'abord avec d'autres approches privilégiant l'établissement de l'enveloppe à partir des résultats d'une classification dirigée, et ensuite avec l'espace administratif reconnu par les organismes de recensement tel l'Institut national de statistique et des études économiques (INSEE – France) afin d'en analyser les divergences.

L'extraction de l'enveloppe urbaine a été menée en fonction de l'aire de bâti continu identifiable. Plusieurs étapes ont été appliquées pour dégager la tache urbaine, puis définir la ZMU et enfin comparer les résultats obtenus avec l'agglomération administrative définie par l'INSEE.

#### **3.1. Première étape : individualisation du bâti continu**

L'identification de l'empreinte urbaine a été réalisée à partir d'une convolution selon une fenêtre glissante afin de rehausser les sauts qualitatifs permettant le renforcement des zones bâties. L'opérateur « context » utilisé ici, correspond à un algorithme de détermination de texture sur niveaux de gris, selon une fenêtre circulaire 7 x 7 (afin d'optimiser la cohérence des contiguïtés d'ordre 8).

#### **3.2. Deuxième étape : les critères statistiques définissant la ZMU**

Pour isoler la tache urbaine il a été nécessaire de diminuer au maximum les risques d'introduction d'artefacts induits par la présence d'éléments de l'image, étrangers à la tache urbaine telles les variations du parcellaire ou encore des éléments structurant l'espace aux abords de la ville mais qui, dans un premier temps, ne sont pas considérés comme faisant partie de celle-ci telles les infrastructures autoroutières. On peut toutefois se demander si les réseaux de transport qui jouent actuellement un rôle essentiel dans les rapports entre le centre urbain et les communes qui l'entourent, ne sont pas des éléments de définition de l'enveloppe urbaine.

Plusieurs traitements ont été combinés (fig. 2) afin de poursuivre nos objectifs.

Une binarisation de l'image par seuillages auxquels se sont ajoutés des traitements de morphologie mathématique (érosions et dilatations successives) pour obtenir un agrégat



**Figure 1.** Image HRV (P) de SPOT du 15-09-1986 de la Communauté urbaine de Strasbourg

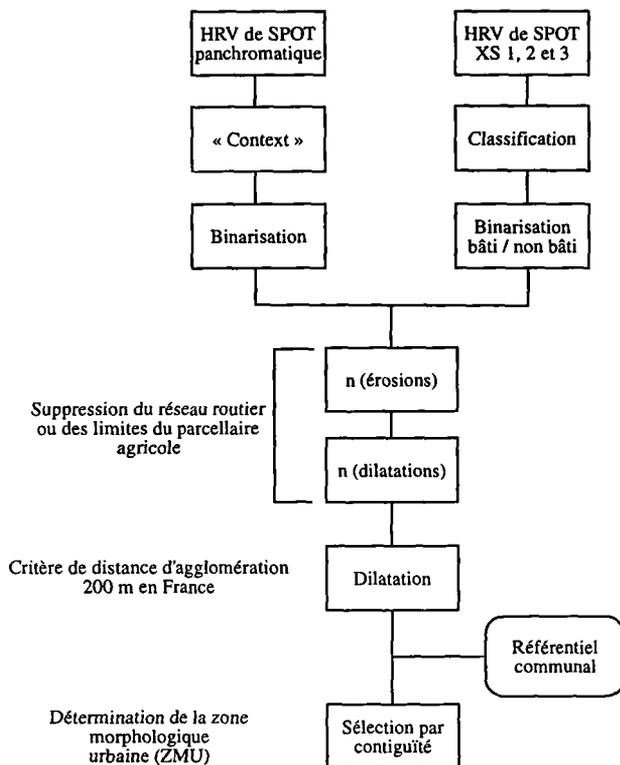


Figure 2. Schéma des procédures méthodologiques

cohérent. Le résultat a été soumis à une série d'érosions-dilatations (en nombre identique) afin d'éliminer ou de diminuer l'impact des artefacts notamment ceux introduits par les réseaux de communication (fig. 3).

Une dilatation du résultat a été faite ensuite pour déterminer une enveloppe urbaine qui tienne compte de la distance d'agglomération. Cette extension correspond dans notre cas à la distance légale de continuité utilisée en France (200 m). Cette distance déterminée par l'INSEE ne tient pas compte des infrastructures, sauf si celles-ci peuvent être considérées comme « élément de jonction », auquel cas leur taille est prise en compte pour mesurer la distance entre les agrégats de bâti (fig. 4).

Dans le cas de l'utilisation du canal panchromatique, il est évident que la distinction ne peut être faite, aussi avons nous considéré, comme ASHER (1995), que les infrastructures « participent à la transformation des systèmes urbains et facilitent l'émergence des îles de l'archipel de la métropole » et de ce fait considéré ceci comme un postulat. La détermination des communes pouvant être intégrées à l'agglomération dépend dans de nombreux pays de critères variés (population active, migrations alternantes, pourcentage d'activités dans la ville centre, etc.). Dans notre application nous avons retenu deux critères associés à la définition de l'agglomération urbaine se rapprochant de la définition légale : la population considérée et le pourcentage de la surface bâtie par rapport à la surface totale de la commune.

En France, une commune est déclarée comme une ville, si elle a au moins 2 000 habitants et l'affectation à une agglomération urbaine dépend de ce critère. « Lorsque



**Figure 3.** Image traitée par l'opérateur « context »

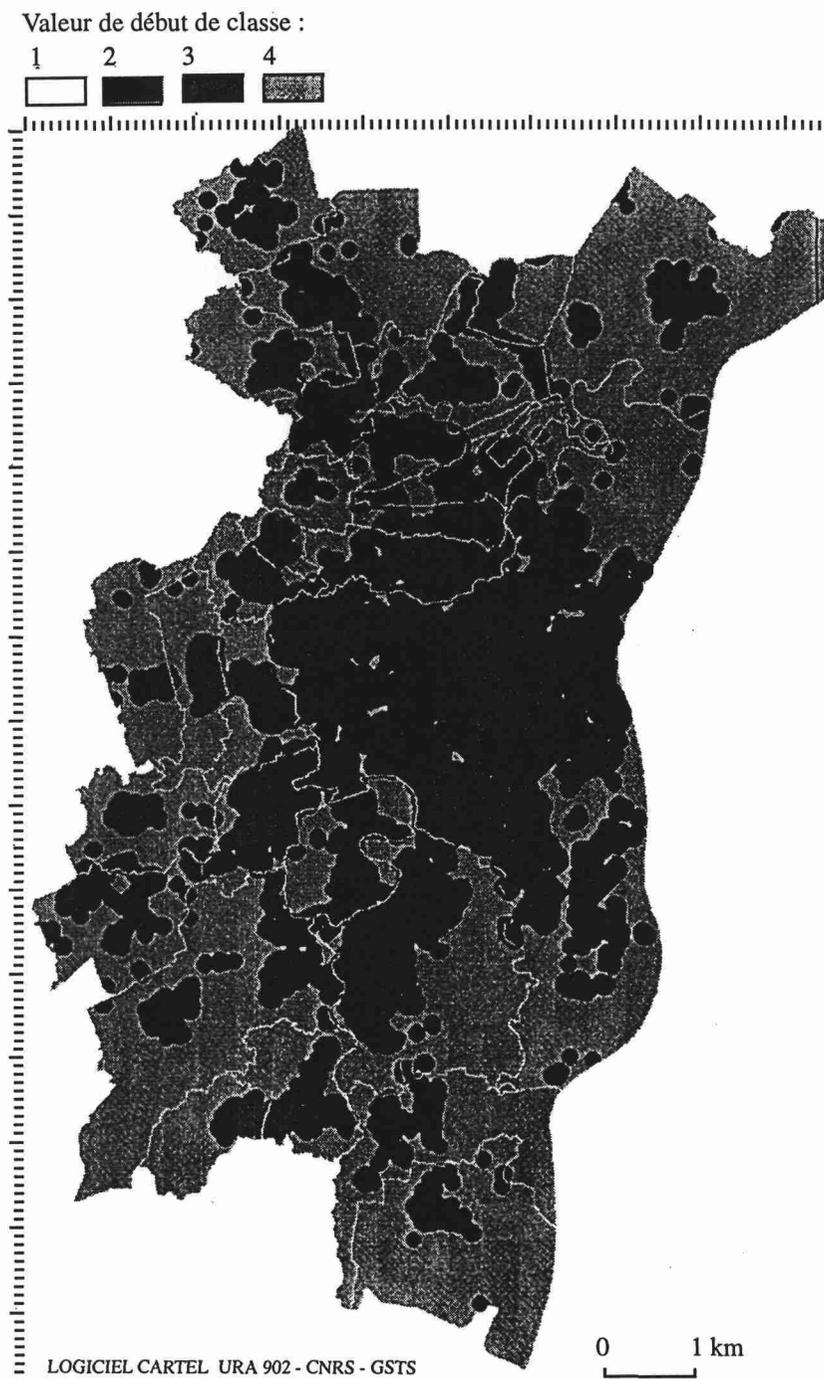


Figure 4. Image « context » plus les opérations de dilatation à 200 m

l'agglomération s'étend sur plusieurs communes, on délimite des agglomérations multicommunales en identifiant sur le territoire toutes les zones bâties qui représentent au moins 2 000 habitants. Parmi les communes réunies, toutes celles dont l'agglomération de population représente moins de la moitié de la population totale de la commune sont éliminées » (INSEE).

Une des difficultés réside dans l'impossibilité où nous sommes de dénombrer la population dans les communes où les noyaux de population sont éclatés et donc où la proportion de population résidant dans le noyau principal est supérieure ou égale à la moitié de la population totale. Le seuil du pourcentage de surface bâtie ( $\pm 50\%$ ) a donc été introduit pour tenir compte d'une proportion potentielle de population sur les zones bâties continues. Ceci correspond aussi aux critères des expérimentations faites dans le cadre de l'étude EUROSTAT. Un tableau résumant les différents critères a été établi pour chaque commune de la Communauté urbaine de Strasbourg (CUS) (tab. 1).

### **3.3. Troisième étape : la cartographie des différents résultats et la comparaison avec la définition statistique officielle de l'INSEE**

Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus par la combinaison de l'enveloppe urbaine et des critères utilisés pour la définition de l'agglomération, nous avons établi une liste de variantes (fig. 5) nous permettant de caler les résultats quelle que soit l'approche considérée (à partir d'une image HRV (P) ou du résultat d'une classification) selon les critères retenus pour l'établissement de l'agglomération. Ceci a conduit ensuite à la cartographie des résultats obtenus et à la mise en évidence de divergences parfois importantes par rapport à la définition administrative retenue pour Strasbourg. Les variations induites par ces critères concrétisent la difficulté qui peut exister quant à l'application de seuils de population ou de surface. Elles mettent en évidence la difficulté à fournir un seul référentiel, qui puisse être applicable de manière générale.

## **4. Résultats**

Cette expérimentation a permis d'envisager une autre approche permettant la discrimination de la ZMU. Les résultats ont permis de visualiser très nettement les différences liées aux critères choisis. Ainsi, la figure 6 montre l'emprise que peut avoir l'agglomération selon le critère choisi.

On remarque que les agrégations correspondant aux critères 2 (communes intégrées dans la ZMU) et 6 (communes dites « urbaines » selon le seuil de population), fournissent des silhouettes de l'agglomération qui se différencient selon la surface de la ZMU obtenue. Compte tenu du pourcentage de surfaces bâties (totale, critère 3 ou ZMU, critère 5), les résultats ne sont pas identiques non plus, les bans communaux où la surface de forêts ou de terres agricoles est importante, se trouvent exclus de l'agglomération. Par contre, si l'on compare la contiguïté administrative et la ZMU intégrant les communes ayant plus de 50 % de surfaces bâties incluses, alors il y a similarité.

Comparés à la définition officielle de l'agglomération, les résultats obtenus divergent. Deux types de causes peuvent être avancés pour expliquer les différences : d'une part, le calcul de surface bâtie ZMU par rapport à la surface bâtie totale, dans le cas de Vendenheim les surfaces commerciales ont joué un rôle important; d'autre part, l'INSEE n'a pas retenu, contre toute attente, le seuil des 2 000 habitants pour l'agglomération de communes. Les

Tableau 1. Critères permettant la délimitation de l'agglomération urbaine de Strasbourg

N°	Localité	Critère *					
		1	2	3	4	5	6
43	Bischheim	1	1	1	1	1	1
118	Eckbolsheim	0	1	0	1	1	1
119	Eckwersheim	0	0	0	1	0	0
124	Entheim	0	0	0	1	0	0
131	Eschau	0	0	0	0	0	0
137	Fergersheim	0	0	0	0	0	0
152	Geisolsheim	0	1	0	1	1	1
204	Hoenheim	1	1	1	1	1	1
212	Holzheim	0	0	0	1	0	1
218	Illk.-Graffenstaden	0	1	0	1	1	1
256	Lampertheim	0	1	0	1	1	1
267	Lingolsheim	1	1	1	1	1	1
268	Lipsheim	0	0	0	0	0	0
296	Mittelhausbergen	0	1	0	1	1	0
309	Mundolsheim	1	1	1	1	1	1
326	Niederhausbergen	0	0	0	0	0	0
343	Oberhausbergen	0	1	0	1	1	1
350	Oberschaeffolsheim	0	0	0	0	0	0
365	Ostwald	1	1	1	1	1	1
378	Plobsheim	0	0	0	0	0	0
389	Reichstett	1	0	0	1	0	1
447	Schiltigheim	1	1	1	1	1	1
471	Souffelweyersheim	1	1	1	1	1	1
482	Strasbourg	1	1	1	1	1	1
506	Vendenheim	0	1	0	1	1	1
519	Wantzenau	0	0	0	0	0	0
551	Wolfisheim	0	1	0	1	1	1

\* Critère

- 1 Commune ayant plus de 50 % de surface bâtie
- 2 Commune intégrée dans la ZMU
- 3 Commune ayant au moins 50 % de surface totale occupée par la ZMU
- 4 Commune contiguë administrativement
- 5 Commune ayant plus de 50 % de surface bâtie incluse dans la ZMU
- 6 Commune contiguë administrativement et ayant plus de 2 000 habitants

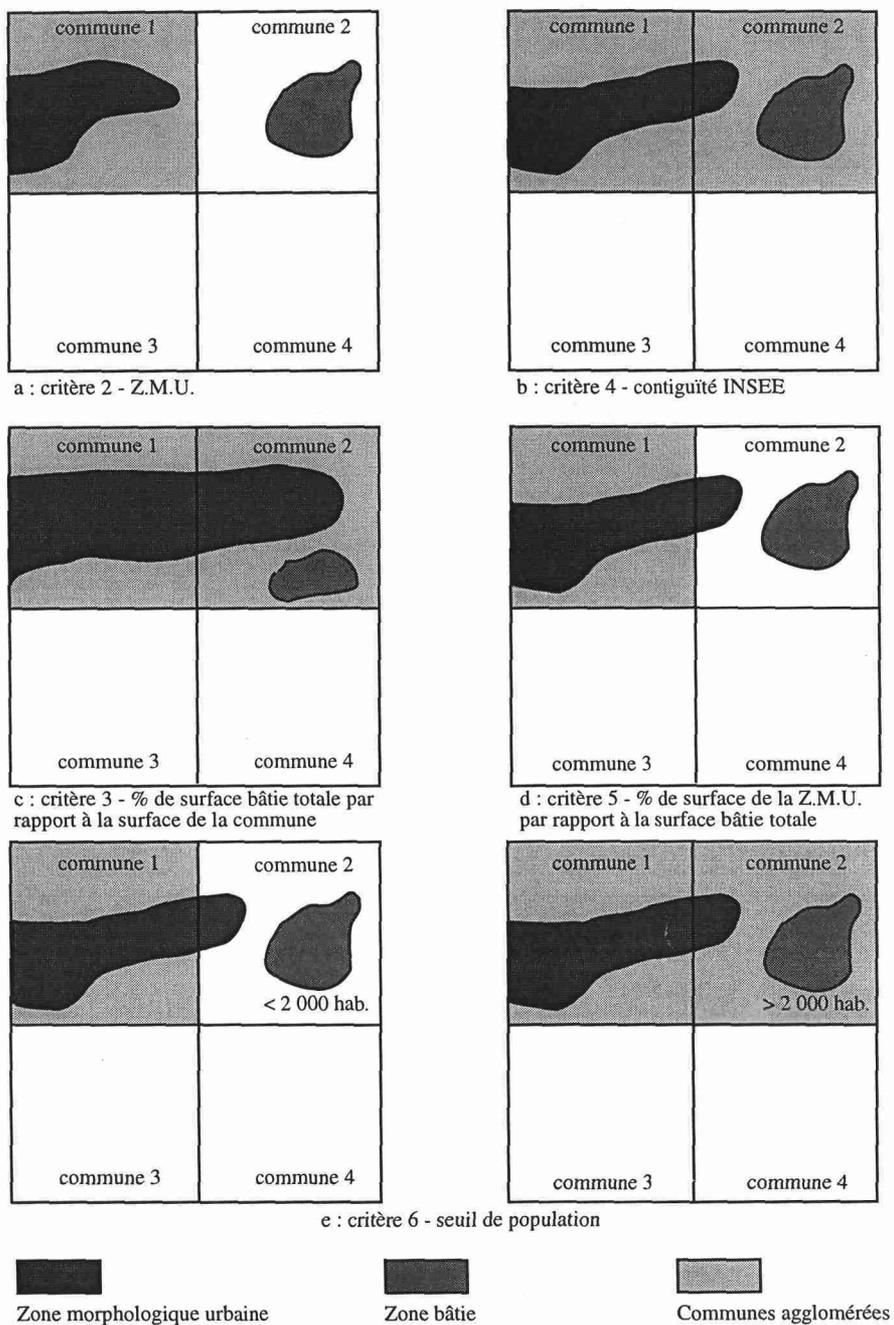


Figure 5. Schéma des variantes d'agglomération de communes selon les critères choisis

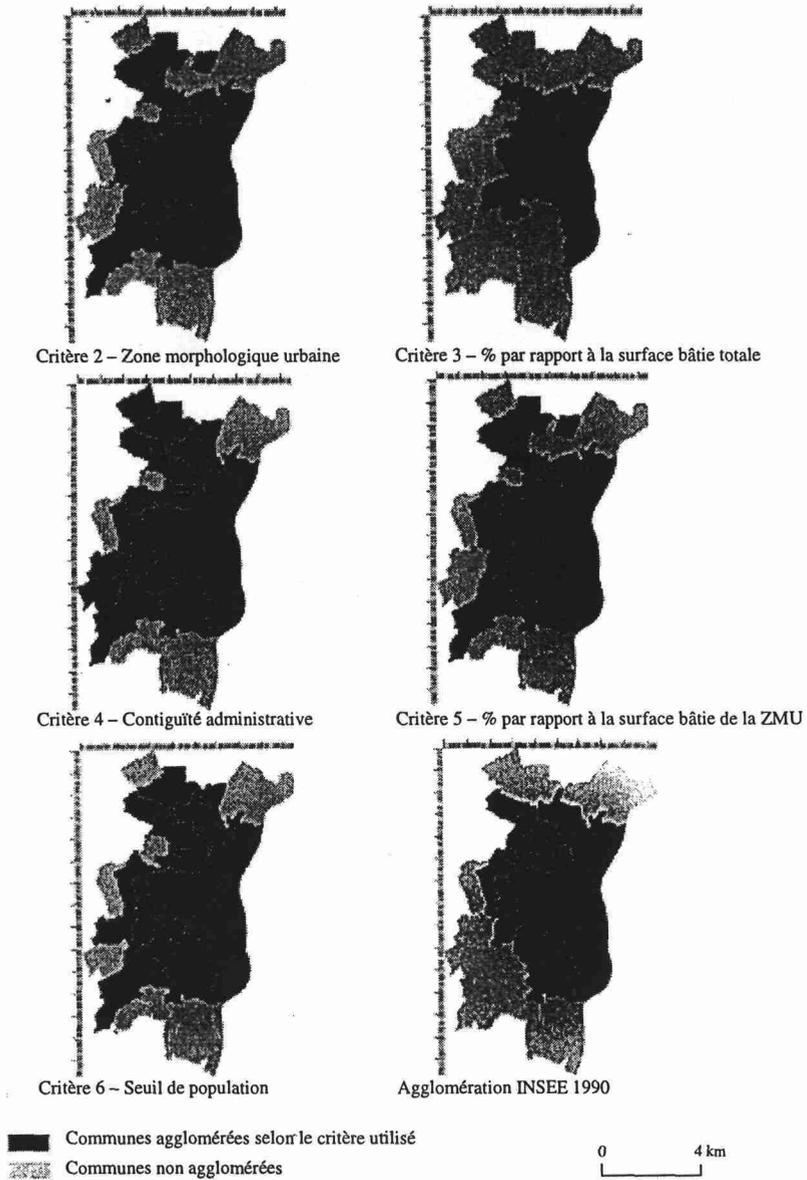


Figure 6. Images de l'agglomération avec plusieurs variantes

points litigieux de jonction proviennent essentiellement de zones où se mêlent quelques zones d'habitat à des aires commerciales et industrielles, ainsi que des surfaces d'infrastructure intégrées dans la tache urbaine (autoroute urbaine, voie de contournement) qu'il n'est pas possible d'isoler par traitements. Les continums ainsi identifiés permettent la prévision de futures aires de développement par densification et extension.

La promotion de nouveaux outils d'aide à la détermination de l'entité urbaine statistique correspond à l'adéquation entre dynamisme urbain et rigueur de collecte d'informations. Déjà utilisée comme base de sondage stratifiée (DUREAU, 1990), la zone urbaine peut aussi être intégrée dans les modèles de densité. Surface de référence pour des représentations densimétriques, elle offre des possibilités de développements ultérieurs dans la modélisation et l'analyse urbaine (WEBER, 1992, 1995a; DONNAY, 1994).

La comparaison avec les résultats dus à l'approche utilisant des données multibandes s'avère intéressante car il est clair qu'il n'y a pas similarité totale des résultats pour la détermination de la ZMU (WEBER, 1995b). L'enveloppe urbaine ainsi dessinée présente là aussi selon les critères retenus des disparités importantes qu'il semble nécessaire d'analyser avant de pouvoir proposer telle ou telle approche aux organismes statistiques. Peut-être que la complémentarité d'une image radar (ERS-1) apporterait une information supplémentaire, notamment en ce qui concerne les zones de transition pavillonnaires, comme cela semble être le cas dans une expérimentation en cours.

## **5. Références**

- ASHER, F. 1995. Métapolis ou l'avenir des villes. Ed. Odile Jacob, 345 p.
- DONNAY, J.-P. 1994. Agglomérations morphologiques et fonctionnelles, l'apport de la télédétection urbaine. *Acta Geographica Lovaniensia*, vol. 34, p. 191-199.
- DUREAU, F. 1990. Sondages Aériolaires sur Image Satellite pour des enquêtes socio-démographiques en milieu urbain. Collection DIDACTIQUES, ORSTOM, 15 fiches.
- EUROSTAT. 1993. Télédétection et statistiques urbaines. Programme Télédétection, Luxembourg.
- PUMAIN, D., SAINT-JULIEN T., CATTAN, N. et ROSENBLAT, C. 1991. Le concept statistique de la ville en Europe. EUROSTAT, Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg, thème 3, série E, 89 p.
- WEBER, C. 1992. Traitement de l'information satellitaire et modélisation urbaine : contraintes de discrimination et reproductivité. Programme national de télédétection spatiale - 90N50/0074 CNES/CNRS, 102 p. + annexes.
- WEBER, C. 1995a. Limites urbaines et processus d'urbanisation. Programme national de télédétection spatiale - 94N50/0158 CNES/CNRS, 30 p. + figures.
- WEBER, C. 1995b. Télédétection des milieux urbains et périurbains. Reconnaissance des formes urbaines : transfert méthodologique Nord-Sud. Rapport d'activité de l'action de recherche partagée de l'AUPELF-UREF, X/1.20.04/01/94.18.0, 55 p. + 16 figures.



## 23

# Détermination des limites d'agglomération par télédétection : discussion méthodologique et application au cas de Huy (Belgique)

JEAN-PAUL DONNAY et MICHEL LAMBINON

*Laboratoire SURFACES, Université de Liège, Place du 20-Août, 7, 4000 Liège, Belgique; téléphone : +32 (4) 366-54-24; télécopieur : +32 (4) 366-56-93; CÉ : surfaces@geo.ulg.ac.be*

### Résumé

Un souci majeur de divers pays européens, et de l'Union européenne elle-même, est de mieux appréhender l'agglomération urbaine et de définir des unités de recensement comparables (PUMAIN *et al.*, 1992). L'étude qui est illustrée ici propose une méthode qui délimite l'agglomération sous ses diverses formes et qui permet d'en évaluer l'importance selon divers critères, tels que l'emprise bâtie ou la population résidante. Elle se base sur la recherche de l'emprise du bâti et de sa continuité, trait physiognomique majeur de l'urbanisation. Pour ce faire, plusieurs traitements de morphologie mathématique sont appliqués à une image satellitaire classée selon les modes d'occupation du sol. L'image résultante est ensuite adaptée aux limites administratives, mais aussi aux limites de recensement, pour répondre aux différentes définitions de l'agglomération. Par conséquent, dans le cadre d'une seule démarche, il est possible, non seulement de délimiter les agglomérations urbaines, mais aussi de vérifier la cohérence du découpage en entités de recensement et de poser les conditions de sa tenue à jour. Cette démarche a été mise au point à l'occasion d'une étude méthodologique préliminaire, réalisée pour l'agence européenne de statistique (DONNAY, 1993) et elle a été appliquée dans le cadre d'une étude de faisabilité, réalisée à la demande de l'Institut belge de statistique (I.N.S.) et financée par les Services fédéraux scientifiques, techniques et culturels (S.S.T.C.) de l'État belge (LAMBINON, 1995). Plusieurs agglomérations urbaines, réparties sur l'ensemble du territoire national et relevant des différents niveaux de la hiérarchie urbaine (de la métropole, à la petite ville), ont fait l'objet d'une telle analyse.

## 1. Concepts et données

### 1.1. Préambule

L'étude se propose de répondre simultanément à deux interrogations. D'une part, la question est de savoir si la télédétection satellitaire, et en particulier le traitement des données enregistrées par les satellites de seconde génération, est en mesure de délimiter l'agglomération urbaine et ses diverses formes d'expression. Une telle potentialité intéresse tout spécialement les agences et bureaux d'études amenés à comparer l'information urbaine au niveau supranational, le plus souvent en l'absence de définitions, de critères et de mises à jour communs. En outre, vis-à-vis des distributeurs de données satellitaires, une telle application peut offrir une opportunité nouvelle de marché. D'autre part, il s'agit de vérifier s'il est possible, au moyen des mêmes informations initiales, de proposer un découpage du territoire en unités de recensement, ou une mise à jour d'un découpage existant, capable de traduire la réalité des milieux urbanisés. Une telle possibilité intéresse au plus haut point les agences nationales, voire locales, ayant soit la statistique, soit l'urbanisme et l'aménagement du territoire dans leurs attributions.

Il semble opportun de définir *a priori* ce qu'est l'agglomération urbaine. En Europe, PUMAIN *et al.* (1992) ont montré combien ces définitions varient et combien les critères manquent d'uniformisation. Parmi ceux-ci, le nombre d'habitants et la distance maximale entre les éléments bâtis, soit l'idée de continuité bâtie, apparaissent systématiquement comme des facteurs décisionnels de la délimitation d'agglomération, mais avec des seuils divers.

La présente étude étant limitée à la Belgique, ce sont tout naturellement les critères belges qui sont retenus. Leur application est illustrée ici par les résultats obtenus sur une des zones-témoins sélectionnées dans l'étude de faisabilité réalisée à la demande de l'I.N.S. belge. Néanmoins, l'étude cherche à favoriser une méthodologie limitant le recours à des contraintes locales, et susceptible d'être appliquée indifféremment à plusieurs États.

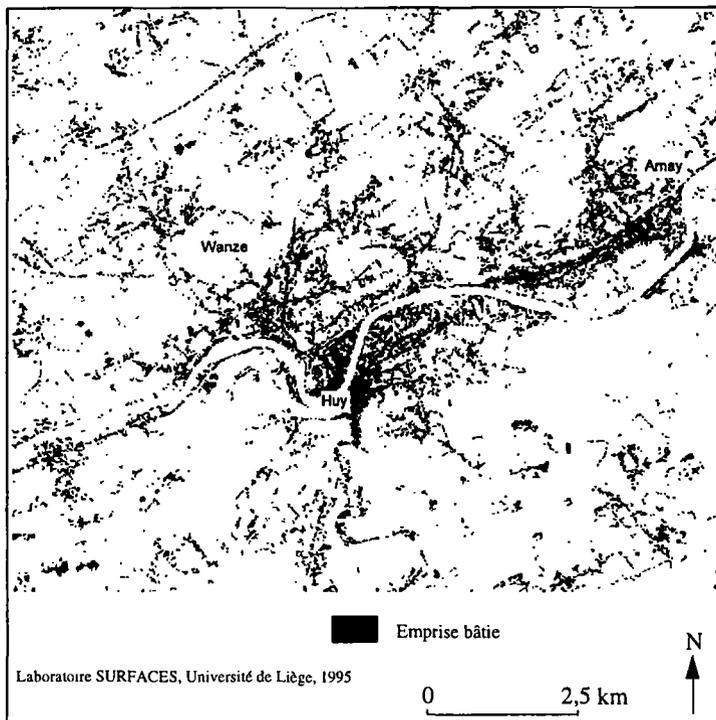
### 1.2. Choix de la zone-témoin

La zone-témoin de la ville de Huy a été jugée significative des différents problèmes rencontrés dans l'application de la méthodologie, pour illustrer cette communication. Son agglomération doit son plan particulier à la présence de la vallée de la Meuse. Au nord comme au sud, la plaine alluviale est bordée par des versants relativement pentus, devenant par endroits des abrupts. L'orohydrographie joue ici un rôle essentiel pour limiter, favoriser ou orienter la diffusion de l'urbanisation. La commune compte un peu moins de 20 000 habitants, mais il convient de tenir compte du voisinage des communes d'Amay, en aval, et de Wanze, en amont, qui, chacune, avec plus de 10 000 habitants, encadrent Huy le long de l'axe mosan (fig. 1).

### 1.3. Données et sources

Sur base de scènes HRV (XS) de SPOT datant de juin 1992, la zone-témoin est localisée de telle sorte qu'elle englobe tout élément susceptible d'appartenir à l'agglomération du site urbain considéré.

Une fois définie la zone de travail, une classification non dirigée est exécutée. Elle n'a pour but que de dégrossir le travail et d'isoler les différents éléments du paysage clairement identifiables. Le tri opéré par la classification automatique, assez efficace dans son ensemble, permet de concentrer les efforts de recherche sur les cas de confusion entre les modes d'occupation urbains et agricoles apparaissant dans les zones périurbaines. Une classification dirigée est alors appliquée, en créant de nouvelles classes d'affectation pour lesquelles des zones d'entraînement sont soigneusement sélectionnées et ajoutées à celles obtenues par le processus automatique. Par contre, il est inutile de solutionner les autres confusions, relevant du seul domaine agricole et limitées aux marges de la zone de travail.



**Figure 1.** Masque binaire de l'espace bâti de la région de Huy

## **2. Développement de la méthode**

### **2.1. Principes**

Les affectations liées au phénomène urbain étant seules prises en compte, l'opération suivante consiste en la création d'un masque binaire définissant l'emprise bâtie de l'agglomération (fig. 1). Ce masque procède d'une simple reclassification des catégories d'affectation allouées aux pixels lors de l'opération précédente.

Immanquablement, cette image binaire présente une sorte de mitage de l'espace. Selon la définition de l'agglomération urbaine valable en Belgique (mais le même critère est partout d'application), les noyaux d'urbanisation séparés de l'agglomération par une distance inférieure à un seuil fixé *a priori*, font partie de cette même agglomération. Pour assurer la suppression des petites solutions de continuité autour de l'agglomération, une procédure de morphologie mathématique, intitulée « fermeture » (BINARD et COLLETTE, 1993), est mise en œuvre. Le choix de la taille de la fenêtre de convolution utilisée par cette fonction, résulte de la distance-seuil précisée dans la définition de l'agglomération.

Les contours de l'agglomération ainsi lissés font apparaître une masse plus compacte, tandis que les noyaux urbains les plus proches lui sont désormais rattachés. Il reste, en périphérie, une série d'îlots urbanisés isolés qu'il convient d'éliminer de l'image. Cette exclusion implique une identification préalable de chaque amas de pixels et, ensuite, une élimination des îlots isolés par une reclassification de l'image. Il en résulte une image binaire où les pixels non nuls et tous connectés, au moins par un coin, forment l'agglomération morphologique, au sens strict, de la ville étudiée (fig. 2).

L'inconvénient de l'agglomération morphologique stricte est qu'elle ne s'appuie sur aucun découpage administratif. Les règles permettant de passer de la continuité bâtie, aux divers niveaux administratifs belges, ont fait l'objet d'études antérieures (VAN DER HÆGEN et PATTYN, 1979; LEEMANS *et al.*, 1990). Le cadre territorial le plus précis, en Belgique, auquel il est possible de rattacher l'agglomération morphologique, est constitué par le découpage en secteurs statistiques, soit les unités de recensement intra-communales définies par l'I.N.S. Ainsi, sont considérés comme appartenant à

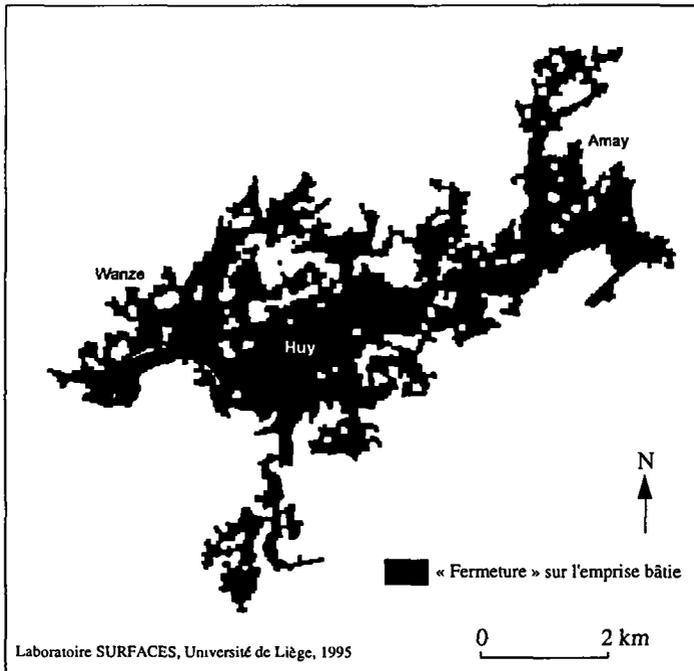


Figure 2. Agglomération morphologique au sens strict de la ville de Huy

l'agglomération, tous les secteurs dont 50 % de la superficie font partie de l'agglomération morphologique au sens strict. L'ensemble des secteurs jointifs répondant à ce critère forme l'agglomération morphologique adaptée aux limites de secteurs statistiques. Le secteur statistique constituant l'unité de recensement de base, il est désormais possible d'attacher une collection de chiffres socio-démographiques à la notion d'agglomération.

C'est précisément sur base de statistiques de population qu'est défini le niveau ultime de l'agglomération urbaine. Il s'agit, cette fois, d'étendre la notion d'agglomération aux limites de communes, pour former ce qu'il est convenu d'appeler l'agglomération opérationnelle. Le critère utilisé consiste à affecter une commune à l'agglomération opérationnelle si la moitié de sa population, au moins, réside dans des secteurs statistiques classés au sein de l'agglomération morphologique.

## **2.2. Mise en pratique**

La mise en pratique des différentes phases de la méthodologie a été réalisée au moyen d'un programme spécifique (DONNAY, 1994) dont les principales étapes sont mentionnées ci-dessous.

La création du masque binaire est triviale, mais sa fermeture est plus problématique. Elle suppose, en effet, que soit définie la distance-seuil entre les éléments urbains assurant la continuité bâtie. La définition utilisée en Belgique autorise une certaine latitude, oscillant entre 50 et 100 m., selon l'appréciation de l'expert. *A contrario*, le seuil choisi dans d'autres pays est souvent fixé de manière non équivoque à 200 m. Il faut, en outre, se souvenir que la taille du pixel de l'image dans notre application est de 20 m. Pour conserver une fenêtre de convolution cohérente, eu égard à la taille du pixel, nous avons opté pour une taille de fenêtre de 140 m, soit une distance-seuil de 60 m de part et d'autre du pixel situé au centre de la fenêtre. Différents essais ont néanmoins été réalisés avec des fenêtres légèrement différentes, mais les images résultantes montrent, dans le cas de l'agglomération considérée, une assez grande stabilité.

Une fois le processus de fermeture accompli, tous les noyaux non connectés à l'agglomération sont éliminés pour ne plus laisser subsister dans l'image que l'agglomération morphologique. Une exception à cette règle est tolérée, à savoir celle de noyaux séparés de l'agglomération par un cours d'eau. Dans ce cas, les îlots sont considérés comme relevant de l'agglomération s'il existe un lien organique, tel un pont, qui crée une connexion entre les deux éléments urbanisés.

L'opération suivante consiste à caler l'agglomération morphologique sur le découpage en secteurs statistiques. Ce dernier est disponible sous format vectoriel, mais est aisément converti en une image des secteurs statistiques. Le programme appliqué permet, en chaque pixel de l'image des secteurs statistiques, de savoir si le pixel homologue dans l'image de l'agglomération morphologique est inclus, ou non, dans la masse urbanisée. Le comptage ainsi effectué permet de déterminer la superficie de chaque secteur appartenant à la continuité bâtie et de décider, *in fine*, de l'appartenance du secteur à l'agglomération morphologique.

La dernière étape consiste à déterminer les communes formant l'agglomération opérationnelle. L'application du seuil de population est réalisée en confrontant deux images : d'une part, une image de l'agglomération morphologique adaptée aux limites de secteurs, et d'autre part, une image des communes préparée préalablement par conversion du fichier vectoriel contenant les limites de communes. Dans ces deux images, les attributs des pixels sont les identifiants des unités spatiales (secteurs et communes) et ils agissent comme des pointeurs vers les tables reprenant les chiffres de population. Le balayage

parallèle des deux images permet, pour chaque commune, de calculer le total de population résidant au sein des secteurs de l'agglomération morphologique qui, rapporté au chiffre de population de la commune, décide de l'appartenance de celle-ci à l'agglomération opérationnelle.

### 2.3. Résultats

L'application de la méthodologie à la ville de Huy s'est avérée plus délicate que celles réalisées sur d'autres grandes agglomérations. En particulier, on a regretté l'absence d'étude antérieure sur le site et l'impossibilité d'une analyse diachronique par manque d'images satellitaires adéquates. Comme annoncé précédemment, Huy possède un site encaissé dans la vallée de la Meuse, et la forme de son agglomération est contrainte par la morphologie de la plaine alluviale, occupant tantôt la rive gauche, tantôt la rive droite, parfois les deux à la fois. Ainsi, la forme de l'agglomération morphologique adaptée aux limites de secteurs statistiques est très digitée (fig. 3). Elle voit certains de ses secteurs constitutifs se détacher de sa masse et laisse, par contre, de nombreux secteurs non urbains s'insinuer en son sein (par exemple, les secteurs couverts de forêts sur les versants).

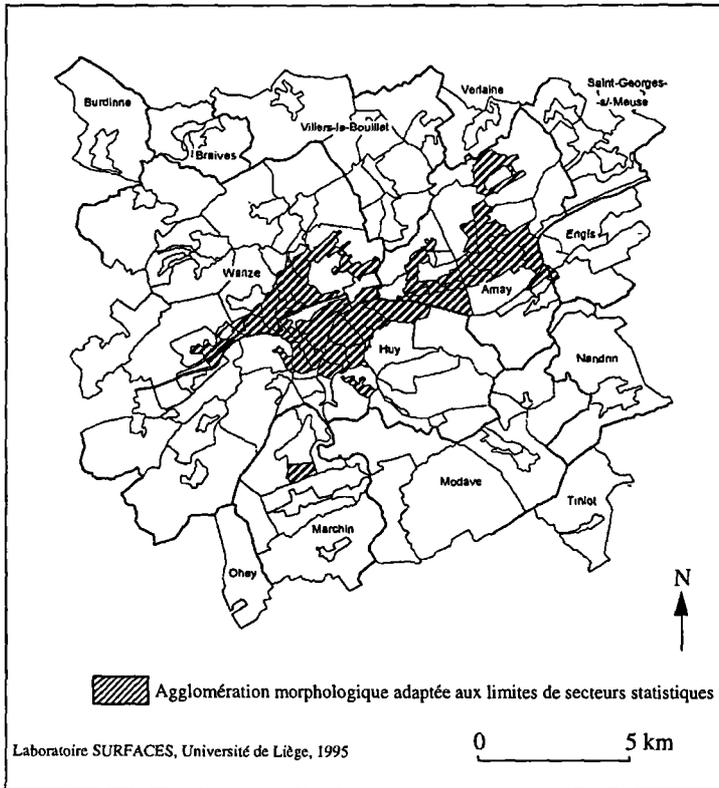


Figure 3. Agglomération morphologique de la ville de Huy adaptée aux limites des secteurs statistiques; l'agglomération opérationnelle correspondante est formée des communes de Amay, Huy et Wanze

Au total, trois communes forment l'agglomération opérationnelle de Huy : Amay, Huy et Wanze (fig. 3). Elle compte ainsi 42 572 habitants, tandis que l'agglomération morphologique ne totalise que 28 461 habitants. Cette faible proportion (67 %) de la population résidant dans l'agglomération morphologique, vis-à-vis de l'agglomération opérationnelle, mérite d'être soulignée. Elle est nettement inférieure aux pourcentages obtenus pour les autres sites-témoin de l'étude (par exemple, 82 % à Bruges), et résulte largement de l'effet de site mentionné plus haut.

En outre, 58 % seulement de la population de la commune de Huy appartient à l'agglomération morphologique adaptée aux limites de secteurs, de sorte que Huy ne contribue à la population totale de l'agglomération morphologique qu'à raison de 37 %. Il en va de même pour la commune de Wanze, voisine, dont seuls 54 % des habitants résident dans l'agglomération morphologique, et qui ne contribue que pour 22 % à la population totale de cette agglomération. La troisième commune importante, Amay, compte les 41 % restant des habitants de l'agglomération morphologique, c'est-à-dire que 91 % de sa population y réside. Si l'on veut bien se souvenir du seuil de population requis pour classer une commune dans l'agglomération opérationnelle (50 %), on s'aperçoit qu'il s'en faut de très peu pour que Wanze et même Huy, commune éponyme, ne soient pas intégrées à l'agglomération opérationnelle.

Ces deux communes présentent de nombreux noyaux d'habitat nettement distincts du noyau central de l'agglomération, séparés qu'ils sont par la morphologie tourmentée du site. Il s'agit, pour la plupart, d'anciens villages urbanisés et de lotissements résidentiels, appartenant incontestablement à l'agglomération, mais que des critères de délimitation trop stricts, ou plus exactement incomplets, ont failli exclure, à l'encontre de toute logique géographique.

### **3. Discussion et conclusion**

L'étude, que la présente communication illustre partiellement, a montré que la télédétection satellitaire pouvait se targuer de résoudre la délimitation des agglomérations urbaines, et ce, dans des cas de figure très différents, de la métropole, à la petite ville, avec une précision acceptable. En termes relatifs, cette précision est d'autant meilleure que l'agglomération est grande. Il est clair, en effet, que les limites de la télédétection satellitaire sont atteintes lorsque l'étude porte sur les petites villes et les villages-centres. Néanmoins, comme on a commencé à le constater avec le cas de Huy, ville moyenne, ce sont plus les critères de définition de l'agglomération, ambigus ou incomplets, que les caractéristiques de l'image satellitaire qui risquent d'altérer la qualité des résultats.

Les limites de la télédétection dans cette application, sont celles de la télédétection urbaine en général : la disponibilité des données (actualité, absence de couverture nuageuse, coût, etc.), la potentialité de discrimination des affectations urbaines (généralement faible dans le cas des images HRV (XS) de SPOT), la résolution géométrique. Toute amélioration dans la définition des critères de délimitation de l'agglomération risque, en outre, de renforcer les limites de la télédétection.

Ainsi, la distance-seuil utilisée pour fixer la continuité du bâti s'avère trop contraignante telle qu'elle a été appliquée dans le cas de Huy. Il serait souhaitable de différencier le seuil selon la nature de l'affectation séparant deux ensembles urbanisés. Ceci impliquerait cependant une classification plus poussée des modes d'occupation du sol, qui grèverait le temps d'application et qui pourrait s'avérer délicate eu égard à l'hétérogénéité des milieux

périurbains. Dans le même ordre d'idées, la prise en compte de l'existence/absence, de la densité et de la capacité du réseau de voirie, dans la différenciation de la distance-seuil, s'avérerait vraisemblablement un avantage déterminant pour exprimer la continuité du bâti. Ces différentes caractéristiques ne sont pourtant que très partiellement rendues par la télédétection et nécessiteraient, en pratique, l'intégration de données exogènes.

Une autre ambition du travail consistait à évaluer les possibilités de mise à jour des unités de recensement, parallèlement à la mise en évidence des limites d'agglomération. L'analyse des images montre aisément qu'un habitat récent s'est développé en prenant pour élément d'ancrage le réseau routier particulièrement dense en périphérie des agglomérations. Cette forme de croissance, souvent linéaire, parfois zonale dans le cas de nouveaux lotissements, se développe dans des secteurs statistiques à vocation agricole ou forestière, au sein desquels le nouvel espace urbanisé se trouve minorisé en termes de superficie. Par conséquent, bien qu'il participe à la délimitation de l'agglomération morphologique au sens strict, cet habitat récent est exclu de l'agglomération urbaine lorsque sont appliqués les critères d'adaptation aux limites administratives. Il importe donc de mettre à jour les limites de secteurs, avant d'envisager toute délimitation de l'agglomération. Cependant, si l'image satellitaire peut identifier les secteurs candidats à une mise à jour, la nouvelle délimitation relève d'une analyse inaccessible à la télédétection (étude fonctionnelle, administrative, etc.).

#### 4. Références

- BINARD, M. et COLLETTE, B. 1993. Traitement contextuel en post-classification pour l'élaboration d'une spatio-carte destinée à la gestion et à l'aménagement du territoire. *in* J.-M. Dubois, F. Cavayas et P. Lafrance (éd). Télédétection appliquée à la cartographie thématique et topographique. Collection Universités francophones-Actualités scientifique, Editions AUPELF-UREF et Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy, p. 285-295.
- DONNAY, J.-P. 1993. Télédétection urbaine et environnement résidentiel. Programme télédétection : télédétection et statistiques urbaines. EUROSTAT, Paris, 12 p. + 22 annexes.
- DONNAY, J.-P. 1994. Agglomérations morphologiques et fonctionnelles, l'apport de la télédétection urbaine. *Acta Geographica Lovaniensia*, vol. 34, p. 191-199
- LAMBINON, M. 1995. Délimitation des limites d'agglomérations par télédétection. Rapport d'étude de faisabilité pour le compte des Services fédéraux scientifiques, techniques et culturels, laboratoire SURFACES, Université de Liège, Liège, 38 p.
- LEEMANS, S., PATTYN, M., ROUSSEAU, S. et VAN DER HÆGEN, H. 1990. Les régions urbaines belges en 1981. Études statistiques, Institut national de statistique, Bruxelles, n° 89, p. 5-25.
- PUMAIN, D., SAINT-JULIEN, T., CATTAN, N. et ROZENBLAT, C. 1992. Le concept statistique de la ville en Europe. Eurostat, Office des publications officielles des Communautés Européennes, Luxembourg, thème 3, série E, 89 p.
- VAN DER HÆGEN, H. et PATTYN, M. 1979. Les régions urbaines belges. *Bulletin de statistique*, Institut national de statistique, Bruxelles, n° 3, p. 235-249.