

AGGLOMÉRATIONS MORPHOLOGIQUES ET FONCTIONNELLES

L'APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION URBAINE

Jean-Paul DONNAY
Laboratoire SURFACES - Université de Liège
7 place du 20-Août, 4000 Liège (Belgique)

Abstract

This paper deals with the abilities of remote sensing to delineate the so-called urban morphological agglomeration as defined by Van der Haegen for the Belgian Statistical Institute (I.N.S.-N.S.I.). The continuity of the built-up area is obtained by the processing of a classified satellite image according to mathematical morphology filtering. The adaptation of the agglomeration to the boundaries of the communes, constituting the operational agglomeration, requires the handling of raster and vector geographical data as well as population figures in a geographical information system. The proposed methodology is applied to the region of Liège (Belgium).

Keywords : urban agglomeration, urban remote sensing, geographical information system (G.I.S.)

Mots clés : agglomération urbaine, télédétection urbaine, système d'information géographique (S.I.G.)

1. LE CONCEPT STATISTIQUE DE LA VILLE

La définition statistique de la ville n'en reflète qu'une conception, parmi beaucoup d'autres. Elle fait pourtant appel à de multiples critères, tant démographiques et socio-économiques, qu'urbanistiques et juridiques. Malgré la multiplicité et la complexité des paramètres, on a pu mettre en évidence une certaine spécificité des villes européennes, tenant en une organisation particulière : un développement concentrique. C'est ainsi qu'autour d'un noyau central ancien et dense, se développe une zone compacte de bâti continu, prolongée par des extensions périphériques plus lâches. Sur la base de ce schéma, quelques descripteurs statistiques généraux ont été établis (Pumain *et al.*, 1992, p.9):

- *les localités urbaines* : définies par les limites administratives ou par le statut juridique des villes;
- *les agglomérations urbaines ou unités urbaines* : regroupant les noyaux urbanisés bâtis en continuité, tantôt sur une portion d'unité administrative, tantôt en rassemblant plusieurs;
- *les régions urbaines* : comprenant les villes centres et leur sphère d'influence ou bassin d'emploi, souvent définis par les déplacements domicile-travail.
- *les régions urbaines polynucléaires ou conurbations* : résultant souvent de la réunion, de par leur extension spatiale, de plusieurs agglomérations ou régions urbaines.

En Belgique, le concept statistique de la ville a fait l'objet d'une définition et d'un développement méthodologique original par Van der Haegen et Pattyn pour le compte de l'Institut National de Statistique (Van der Haegen et Pattyn, 1979). Les notions développées alors ont été renouvelées à la suite du recensement de 1981 et de la fusion des communes belges (Leemans *et al.*, 1990). Dans ces études, la plupart des niveaux hiérarchisés traduisant le fait urbain, sont définis par une combinaison d'indicateurs démographiques et socio-économiques. Un niveau, pourtant, fait appel à un critère distinct : celui du noyau d'habitat urbain ou de l'agglomération morphologique :

"Le noyau d'habitation urbain comprend la ville centrale et la couronne urbaine. C'est la partie agglomérée du territoire avec maisons, bâtiments publics, équipements industriels et ou commerciaux, y compris les voies de communication, parcs, terrains de sport, etc. Il est limité par des terres arables, des bois, des terres incultes parsemées d'habitations dispersées." (Leemans et al., 1990, p. 6).

Sa délimitation repose sur la continuité spatiale de la construction urbaine, contrôlée sur le terrain et/ou sur cartes topographiques et photos aériennes, et est basée sur le découpage des secteurs statistiques de 1981. Comme le signale les auteurs, l'adaptation aux limites communales était nécessaire, tant pour des raisons de disponibilité de chiffres statistiques, que pour des raisons de comparaison internationale. Cette adaptation conduit à la notion d'agglomération opérationnelle ou opérationnalisée obtenue :

"[...] en ajustant le noyau d'habitat aux limites de communes. A cet effet, on calcule la part relative des habitants d'une commune résidant dans le noyau d'habitat par rapport au nombre total des habitants de la commune. Si la proportion est supérieure à 50 %, la commune est considérée comme faisant partie de l'agglomération [opérationnelle]." (Leemans et al., 1990, p. 6).

Dans la mesure où la délimitation du bâti et l'évaluation de sa continuité recourent à l'interprétation de cartes, orthophotos et photographies aériennes, il est logique d'envisager les possibilités de la télédétection satellitaire en la matière.

2. LA TÉLÉDÉTECTION URBAINE

2.1. Les conditions de la télédétection urbaine

Face aux moyens conventionnels de figuration et d'analyse de la surface terrestre, la télédétection satellitaire semble présenter plusieurs avantages déterminants tels que, par exemple, le caractère synoptique des images et la répétitivité des enregistrements. En outre, le caractère numérique des informations, bien qu'il ne soit pas l'apanage des images satellitaires, autorise la mise en oeuvre des méthodes numériques de traitement qui, même si elles ne sont pas automatiques, assurent la reproductibilité de opérations.

Pourtant, dans l'état actuel de la technologie, télédétection satellitaire et télédétection aéroportée restent complémentaires, la première souffrant encore de certaines limites qui apparaissent d'autant plus nettement que l'échelle d'étude est grande et

que l'objet de l'investigation est artificialisé. Ce sont précisément les conditions d'analyse de la télédétection urbaine.

Sans entrer dans le détail des caractéristiques de la télédétection urbaine, largement développées d'autre part (voir par ex. Donnay, 1992), il est utile de rappeler le caractère contraignant de l'utilisation de l'imagerie satellitaire, d'une part, et de l'analyse urbaine d'autre part.

Le premier critère limitant est sans conteste la résolution géométrique de l'image. Les satellites SPOT et LANDSAT, dits de seconde génération, sont les seuls disposant de capteurs multispectraux offrant une résolution géométrique compatible avec l'étude des villes. Pourtant, malgré des tailles de pixels variant de 10 à 30 mètres, ils s'avèrent souvent incapables de résoudre efficacement le plan des anciennes villes européennes. Dans la mesure où la discrimination des voiries et du parcellaire urbains n'est pas nécessaire à l'identification de l'emprise bâtie, telle qu'utilisée dans la définition de l'agglomération morphologique, les images SPOT et LANDSAT TM peuvent constituer une source d'information adéquate pour le problème envisagé.

La seconde difficulté réside dans le caractère non univoque des signatures spectrales des matériaux urbains et la non spécificité des matériaux dans la définition des objets urbains. Ceci entraîne des confusions fréquentes dans l'identification des affectations minéralisées, d'autant que les conditions micro-climatiques de l'environnement urbain ajoutent à la perturbation (pollution atmosphérique, rétention de l'humidité sur les surfaces planes artificialisées, etc.). La nomenclature des affectations urbaines identifiées par télédétection satellitaire est sensible à ces conditions particulières. Si la simple notion d'emprise bâtie tolère une certaine ambiguïté entre les affectations minéralisées, la reconnaissance de différentes densités résidentielles, utile à l'analyse envisagée, impose une plus grande circonspection. A cet égard, la richesse multispectrale des images TM peut prévaloir sur la meilleure résolution géométrique des images SPOT.

2.2. La nomenclature des affectations urbaines

La nature des affectations identifiées par télédétection relève de l'une des trois composantes des écosystèmes : minérale, végétale ou aquatique. Les deux dernières peuvent prétendre, grâce à des signatures spectrales spécifiques, faire l'objet d'une détermination détaillée, conforme aux nomenclatures d'occupation du sol établies par interprétation de photos aériennes et utilisable à différents niveaux d'aménagement physique et d'étude de l'environnement. La composante minérale est par contre problématique. Aux difficultés inhérentes aux réponses spectrales des espaces minéralisés, s'ajoute l'impossibilité pour la télédétection d'appréhender l'aspect fonctionnel de l'occupation du sol, alors que c'est précisément selon ce critère que sont établies les nomenclatures propres aux espaces bâtis. Moyennant le recours à l'information texturale de l'image, mais surtout par l'intégration de données exogènes, il est possible de discriminer quelques catégories d'espaces construits avec une fiabilité variable. Quoi qu'il en soit, la nomenclature des espaces bâtis établie par télédétection satellitaire s'écarte des classifications courantes des urbanistes et requiert une approche distincte dans l'étude de la ville.

Il n'est pas inutile de mentionner les catégories d'affectations, couramment distinguées, susceptibles d'intervenir dans le cadre de l'analyse statistique de l'agglomération urbaine. A titre d'exemple, les postes suivants figurent parmi la légende de l'image classée illustrant cette application :

- Habitat dense et services
- Habitat continu
- Habitat en ordre lâche
- Industrie, ballaste
- Voirie, aire de parcage
- Chantiers, carrières
- Végétation urbaine

Les trois catégories d'habitat sont distinguées par une analyse de texture simple portant par exemple sur la densité et la disposition des pixels en affectation bâtie. La présence des services est seulement soupçonnée au milieu de l'aire résidentielle la plus dense, à moins de disposer d'informations spécifiques. Si la grosse industrie peut être identifiée assez aisément, les autres espaces industriels demandent une information exogène pour être résolus. Il en va de même pour la plupart des axes de voiries. Par végétation urbaine, on entend les espaces de faible superficie où la couverture végétale prédomine mais entourés de bâti : jardins, parcs, cimetières. Parmi les affectations complémentaires, les plans d'eau, dont la reconnaissance ne pose généralement pas de problèmes, sont susceptibles d'être incorporés dans le territoire urbain si ils ne couvrent pas une superficie trop importante, auquel cas ils introduisent une solution de continuité dans l'espace construit.

3. L'INTÉGRATION DES DONNÉES AU MOYEN DU S.I.G.

Le concept statistique de la ville comprend une série de niveaux emboîtés d'unités territoriales dont les limites s'appuient sur le découpage communal ou infra-communal constitué par les secteurs statistiques. Si l'on veut utiliser l'image satellitaire dans la démarche statistique, il est nécessaire d'intégrer deux sources d'information géographique décrites dans deux modes distincts : l'image satellitaire, disponible en mode image (*raster*) par définition, et les limites abstraites des divisions administratives saisies, et distribuées, sous une forme vectorielle.

L'intégration des deux sources de données est réalisée au travers d'un système d'information géographique (S.I.G.)-logiciel qualifié d'hybride, c'est-à-dire capable de traiter simultanément les deux modes de représentation : image et vectoriel. A défaut, une *vectorisation* des résultats du traitement appliqué à l'image satellitaire ou, au contraire, une *rasterisation* des limites administratives, permettraient de réaliser l'application au moyen d'un S.I.G.-logiciel confiné à un seul mode graphique.

L'intégration des deux sources de données doit être cohérente. Ceci implique a priori une correction géométrique de l'image satellitaire dans le système de référence des limites administratives (système de coordonnées rectangulaires "Lambert belge" en l'occurrence). Il reste que la précision géographique de l'ensemble des données se trouve réduite par la résolution de l'image corrigée et qu'il faudra en tenir compte lors de tout planimétrage des superficies que l'on voudrait effectuer par la suite.

On notera cependant que la perte de précision introduite par l'intégration de l'image satellitaire est loin d'être considérable : d'une part les images offrent des résolutions de 10 à 30 mètres, selon le capteur sélectionné, et d'autre part les limites

administratives sont des objets abstraits reportés et numérisés sur un agrandissement de la carte de base à 1/25.000 et elles sont donc entachées d'une erreur non négligeable. A l'échelle d'analyse de l'agglomération urbaine, l'erreur résultant de l'intégration des données est jugée tolérable. Il en irait sans doute différemment si l'étude portait sur les quartiers urbains.

4. LA DÉLIMITATION DES UNITÉS URBAINES

4.1. L'emprise bâtie et les noyaux d'habitat

Pour rappel, l'image sur laquelle repose la démarche qui suit, est constituée d'une image satellitaire à haute résolution (LANDSAT TM ré-échantillonnée à 20 mètres dans le cas de l'exemple illustré), corrigée géométriquement et classifiée selon une nomenclature des affectations du sol orientée vers l'analyse urbaine. Ceci sous-entend l'usage non seulement des signatures spectrales des objets à la surface du sol, mais aussi celui de l'information de texture de l'image et éventuellement l'apport de données exogènes.

L'identification de l'emprise bâtie au sein de l'image classifiée se ramène à une simple opération de re-classification des pixels. Les catégories d'affectations construites sont rassemblées dans une première classe, tandis que toutes les autres affectations sont réunies dans une seconde. Le résultat constitue par conséquent une image binaire, ou masque booléen, où les deux classes en présence sont codées respectivement par (1) et (0). La figure 1 illustre un tel masque booléen réalisé sur un extrait d'image couvrant la région liégeoise, en regroupant les diverses catégories d'habitat, l'industrie et la voirie.

La reconnaissance des seuls noyaux d'habitat devrait pouvoir être réalisée selon le même principe, en rassemblant dans une seule classe les seules affectations résidentielles. Cependant, il faut se souvenir que la discrimination fonctionnelle des espaces construits est loin d'être rigoureuse. Les services, les petites industries et la voirie de desserte, notamment, sont immanquablement confondus avec l'habitat. Dans la mesure où le procédé a pour but la délimitation d'un zonage, certaines confusions sont acceptables, à condition qu'elles ne portent pas sur la grande voirie ou l'industrie lourde par exemple.

4.2. L'agglomération morphologique

Si la délimitation de l'agglomération morphologique se base sur la continuité bâtie, les règles en la matière admettent cependant certains hiatus entre les noyaux construits pourvu que ces solutions de continuité ne dépassent pas un seuil

FIGURE 1 : Emprise bâtie de l'agglomération liégeoise identifiée par télédétection satellitaire (extrait d'une image classée LANDSAT TM 1989 rééchantillonnée à 20 mètres)

FIGURE 2 : Définition de l'agglomération morphologique par fermeture du masque de l'emprise urbaine et exclusion des noyaux d'habitat non contigus

déterminé. C'est ainsi, par exemple, qu'en France, au Danemark ou en Grèce, on assimile à l'agglomération les noyaux distants de moins de 200 mètres de la

continuité bâtie, voire plus si l'espace interstitiel est occupé par des affectations précises telles que les cours d'eau par exemple (Pumain *et al.*, 1992). En Belgique, la règle semble définie avec moins de rigueur. Un couloir de 50 à 100 mètres autour de la continuité bâtie est également pris en considération mais on admet que la délimitation des agglomérations laisse place à une certaine subjectivité (Institut National de Statistique, 1975, p. 10).

L'implémentation de cette contrainte de distance au sein du S.I.G. utilise la création d'un espace-tampon ou couloir (*buffer zone*) de largeur paramétrable autour des objets géographiques sélectionnés, ici les espaces bâtis. Il faut ensuite attacher les noyaux situés dans le couloir à l'agglomération principale. En mode image, cette double opération est réalisée par une procédure de fermeture appliquée au masque de l'espace construit. Elle consiste en la succession d'une dilatation et d'une érosion du masque, toutes deux réalisées par la convolution d'une fenêtre circulaire de diamètre égal à la distance-seuil tolérée. Les noyaux d'habitat extérieurs à l'agglomération morphologique ainsi délimitée, sont identifiés par recherche des groupements de pixels dans l'image, puis éliminés par re-classification.

La figure 2 illustre la continuité bâtie mise en évidence par la fermeture du masque apparaissant à la figure 1 et exclusion des noyaux non contigus à l'agglomération. A l'échelle d'analyse, l'application d'un couloir de 100 mètres n'a que peu d'effet sur le rattachement de noyaux isolés à l'agglomération. On constate que l'application des techniques numériques conduit à une agglomération de superficie totale plus réduite que celle obtenue par interprétation visuelle des cartes et photos aériennes. Le résultat était attendu puisque l'interprète est influencé par la présence de voirie, de jardins, de clôtures, etc. pour prolonger la continuité bâtie, tandis qu'il applique le seuil de 100 mètres avec une certaine latitude. Pratiquement, cela signifie que toute généralisation de la méthode présentée ici demanderait une définition plus précise de la notion de continuité bâtie et la révision, vraisemblablement vers le haut, des valeurs-seuils.

4.3. L'agglomération opérationnelle

Jusqu'ici, les limites de l'agglomération morphologique ne s'appuient sur aucune frontière administrative. L'adaptation de ces limites aux frontières des secteurs statistiques peut être décidée sur la base d'un simple quota de superficie par secteur, tel que : un secteur sera totalement intégré à l'agglomération si au moins 50 % de sa superficie sont englobés dans la continuité bâtie de l'agglomération. La mise en oeuvre d'une telle règle de décision ne requiert que le comptage, par secteur statistique, des pixels classés dans l'agglomération, rapporté au nombre total des pixels par secteur. La figure 3 illustre cette adaptation aux limites des secteurs apparaissant en surcharge. Si l'on compare les figures 2 et 3, on constate que les changements sont peu nombreux car la continuité bâtie de la figure 2 épousait déjà largement les limites des secteurs. Cela témoigne, à la fois de la cohérence des méthodologies de délimitation des espaces bâtis, et du faible dynamisme de l'agglomération enregistré à cette échelle d'analyse.

FIGURE 3 : Adaptation des limites de l'agglomération morphologique aux frontières des secteurs statistiques

FIGURE 4 : Adaptation des limites de l'agglomération aux frontières des communes (agglomération opérationnelle)

L'adaptation des limites de l'agglomération morphologique aux frontières des communes, constituant l'agglomération opérationnelle selon la terminologie de Van der Haegen, est réalisée en se basant sur un ratio de population : une commune est classée dans l'agglomération opérationnelle à la condition que 50 % au moins de sa population résident dans des secteurs appartenant à l'agglomération morphologique (figure 4). L'application se conçoit parfaitement au sein du S.I.G., en utilisant les chiffres de population attribués aux secteurs statistiques.

On aura remarqué que, dans l'image satellitaire classée, l'identification des différentes catégories d'affectation résidentielle au sein de chaque unité administrative, secteur ou commune, fournit les moyens d'une cartographie densimétrique (*dasymetric mapping*). Les chiffres de population associés à chaque entité peuvent être rapportés à la seule superficie résidentielle, introduisant ainsi la notion de densité nette. En outre, si l'on affecte à chaque catégorie résidentielle un facteur de pondération de la densité de population, on peut affiner la règle de décision adaptant les limites de l'agglomération morphologique aux frontières administratives. Les facteurs de pondération demandent un calibrage préalable sur un échantillon des catégories résidentielles, de sorte que son application n'a pas été tentée dans le cadre de cette courte publication.

5. CONCLUSION

Parmi les unités statistiques urbaines, le niveau de l'agglomération est celui qui convient le mieux à l'approche par télédétection satellitaire. D'une part, l'agglomération est définie en premier lieu par un critère d'emprise bâtie accessible à la télédétection et d'autre part, l'échelle d'analyse de l'agglomération est compatible avec la résolution des images enregistrées par les satellites de seconde génération. La méthode implique cependant un traitement de classification de l'image propre à l'analyse urbaine et le recours aux fonctions caractéristiques des S.I.G. s'avère indispensable pour délimiter les agglomérations morphologiques et opérationnelles.

A plus grande échelle, l'étude des unités statistiques urbaines peut aussi profiter de l'apport de la télédétection grâce à l'identification de l'emprise résidentielle et à l'évaluation des densités nettes de population. La cartographie densimétrique qui en résulte révèle particulièrement bien les structures géographiques de l'espace étudié, en particulier dans la frange urbaine constituant l'interface entre le monde urbain et le monde rural (Donnay et Thomsin, 1993). A petite échelle, c'est par le biais de la modélisation des données satellitaires en surfaces statistiques que l'analyse des régions urbaines par télédétection s'avère la plus intéressante (Nadasdi *et al.*, 1991).

La prise en compte de l'occupation du sol, la répétitivité des enregistrements et l'aspect synoptique des images, sont autant de caractéristiques de la télédétection qui peuvent apporter une plus value substantielle aux analyses statistiques urbaines.

Bibliographie

- Donnay, J.-P. (1992), Applications de la télédétection satellitaire à l'aménagement du territoire et à l'urbanisme, dans Télédétection spatiale, Collection C.N.E.S., Toulouse, CEPADUES Editions, pp. 221-241.
- Donnay, J.-P., Thomsin, L. (1993), Télédétection et statistiques urbaines, Rapport final de recherche du laboratoire SURFACES pour le compte d'EUROSTAT, Université de Liège, 12 p. + cartes et annexes.
- Institut National de Statistique (1975), Recensement de la population de 1970, Tome 13, Bruxelles.
- Leemans, S., Pattyn, M., Rousseau, S., Van der Haegen, H. (1990), Les régions urbaines belges en 1981, Etudes statistiques, 89, Bruxelles, Institut National de Statistique, pp. 5-25.
- Nadasdi I., Binard M., Donnay, J.-P. (1991), Transcription des usages du sol par le modèle de potentiel, Mappemonde, 3, pp. 27-31.
- Pumain, D., Saint-Julien, T., Cattan, N., Rozenblat, C. (1992), Le concept statistique de la ville en Europe, Eurostat, Thème 3, Série E, Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes, 89 p.
- Van der Haegen, H., Pattyn, M. (1979), Les régions urbaines belges, Bulletin de statistique, 3, Bruxelles, Institut National de Statistique, pp. 235-250.