

LA TRANSFORMATION RAPIDE DES ESPACES URBAINS : IDENTIFICATION ET SUIVI CARTOGRAPHIQUE SUR IMAGES SPOT, QUITO ET MARNE-LA-VALLEE

Jean-Paul DUCHEMIN* et Bernard LORTIC**

* Géographe, ORSTOM, Département SUD, responsable U.R. 5F

** Ingénieur télédétection, ORSTOM, Département SUD, U.R. 5F

LE CONSTAT

Dans la plupart des villes des pays en voie de développement, les responsables de l'urbanisme et les praticiens des services urbains, mais aussi les scientifiques travaillant sur les questions urbaines, ne disposent pas d'une cartographie satisfaisante de l'espace urbain. Dans presque tous les cas, elle est partielle, imprécise, caduque et chère.

- Seul le coeur de la ville est couvert, au mieux la ville légale. Au delà des limites administratives, très souvent anciennes donc n'englobant qu'une partie étroite de l'espace urbanisé, ce qu'il est convenu d'appeler "les extensions urbaines", même quand elles sont tout à fait légales, sont rarement couvertes.

Ces cartographies peuvent être fragmentaires : une opération programmée d'habitat, une zone d'intervention ..., ou de nature différente : cartographie de réseaux physiques (assainissement, distribution de l'eau...) ou de réseaux plus immatériels : transports ou même voirie non revêtue lorsque son tracé tient plus du dessin du promoteur privé ou des habitudes que du relevé et de l'enregistrement municipal.

Il va de soi que les espaces illégaux où s'installe l'habitat des plus pauvres, friches du tissu urbain ou franges périphériques, ne sont jamais cartographiés puisque l'acte de cartographier s'apparente, quasi toujours, pour le pouvoir à une reconnaissance du fait; acte que les habitants, d'ailleurs, interprètent toujours comme une reconnaissance, au moins, du droit à occuper c'est à dire à habiter.

- Quand des cartographies existent :

- les échelles varient, naturellement attachées aux besoins des services qui les ont créées ou commandées;
- le degré de précision, lié certes à l'échelle, mais aussi à la fiabilité des sources utilisées et à la qualité des relevés pratiqués est d'une grande diversité, les utilisateurs, trop souvent, l'ignorent superbement ;
- la projection originelle, quand elle existe, est souvent inconnue;
- quant à l'altimétrie, même dans des villes où le relief est loin d'être négligeable, elle est, elle aussi, souvent absente ou trop approximative.

- La croissance démographique rapide des villes de ces pays, et particulièrement le fait qu'elle soit due pour une part, importante encore, à l'immigration, se traduit par une extension de la tache urbaine. En effet, cet accroissement de l'espace urbain résulte, pour l'essentiel, d'une urbanisation horizontale des périphéries. Dans cette croissance des villes, la densification de l'espace déjà urbanisé intervient pour une part généralement très minoritaire. La mise à jour cartographique, quand elle existe ou même, simplement, quand la volonté en est présente, est incapable de suivre le rythme de cette urbanisation grande consommatrice d'espace.

Cette constatation peut être faite, aussi, dans les pays développés sur des zones urbanisées à évolution rapide comme, par exemple, la région parisienne où le suivi du mode d'occupation de l'espace pose la même lancinante question du suivi géographique.

- Les méthodes actuelles de mise à jour des cartographies sont d'un coût élevé.

Les relevés au sol ne sont plus utilisés que pour des portions d'espace très petites, là où le degré de précision demandé est très élevé: relevés cadastraux, altimétrie fine pour installation de réseaux... . Ils nécessitent un personnel spécialisé, sont lents à établir et, dès lors, d'un coût qui devient très lourd si la surface à couvrir est importante.

Les couvertures de photographies aériennes, classiquement utilisées pour les mises à jour, sont lourdes à mettre en oeuvre. Beaucoup de pays en développement ne disposent pas de l'outil très spécialisé nécessaire: avion, personnel qualifié, systèmes de restitution cartographique... . Même quand cet outil existe, sa mise en oeuvre est d'un coût élevé. Ce coût augmente dans de très grandes proportions s'il faut faire appel à des entreprises privées étrangères. Enfin, sur des zones à couvrir de grande ampleur, le temps de restitution - de la photo à la carte- peut

être long et la cartographie résultante prendre ainsi du retard sur l'état de l'urbanisation.

Pour l'action ou le recherche, cette situation est particulièrement gênante.

C'est pourquoi, dans le programme de recherche que nous mettons en oeuvre, nous cherchons comment le nouvel outil qu'est la télédétection peut être utilisé pour une identification et un suivi cartographique de ces phénomènes de transformation rapide des espaces urbains.

L'ambition, grâce à cet outil, est bien de réduire :

- d'une part, les délais de ces mises à jour, pour tendre à l'immédiateté,
- d'autre part, de façon importante, les coûts d'obtention de ces mises à jour.

Puisque nous sommes convaincus que la télédétection peut être utilisée dans ce but, il faut en établir maintenant le mode d'emploi, c'est à dire élaborer une série de méthodologies en fonction des objectifs recherchés. Il va de soi qu'il faut ensuite évaluer les résultats obtenus, certes au vu de l'ambition avancée (délais et coûts), mais surtout en termes de qualité des mises à jour produites (degré de précision...).

Pour mettre en oeuvre ce programme, nous avons choisi une démarche de recherche, choix que nous justifions ci-dessous.

UNE DEMARCHE DE RECHERCHE :

A / UN CHOIX

L'application, aux enregistrements de télédétection, des méthodes de photo-interprétation est possible, courante et souvent intéressante. On travaille alors sur des sorties papier, film ou écran des enregistrements, soit en mode panchromatique, soit en "composition colorée". En particulier, la résolution de 10 mètres du satellite, en mode panchromatique, se traduit par une image proche d'une photographie aérienne au 1/50 000 ème.

Dès lors, une photo-interprétation est toujours possible; elle permet de segmenter l'espace en entités différentes telles que discernées sur l'image. La couleur, la valeur, la structure sont les trois paramètres que

l'on utilise classiquement, sans connaître trop de difficultés. Par contre, l'identification des éléments de ces entités relève quasi totalement de l'interprétation. Seuls quelques éléments urbains, de par leur forme particulière, leur structure ou leur nature, sont aisément identifiables (aéroport, stade, golf, jardins d'une certaine taille, grands ensembles d'habitat ou d'activités de forme caractéristique...).

Cette "facilité" de lecture directe donne l'impression que l'usage, sur les données des enregistrements, des méthodes statistiques de classification permettrait une segmentation de l'image échappant entièrement au coefficient personnel de chaque interpréteur. De fait, le résultat des classifications, qu'elles soient dirigées ou non paramétrées, est toujours visuellement assez satisfaisant; en particulier lorsque l'analyste connaît bien la ville qu'il étudie. A un moment donné, il trouvera une structure stable aux données radiométriques à laquelle il s'efforcera de faire correspondre une nomenclature. On peut penser que, dans bien des cas, l'analyste adapte la nomenclature aux formes fortes des données. Dans ce raisonnement, de type tautologique, le degré de validation de la classification, en fonction donc de la nomenclature issue de cette itération, est toujours élevé. Si un axe de recherche intéressant (et original) serait de se pencher sur les nomenclatures produites par ces démarches, le degré de validation ne peut être en rien un argument pour justifier la méthode.

L'hypothèse de base des classifications actuelles repose sur l'identification radiométrique d'un taxon ou, en d'autres termes, sur l'idée que la valeur multi-spectrale d'un pixel correspond à un taxon de la nomenclature.

Même pour un pixel "pur", la valeur radiométrique n'a pas forcément une signification directement utile à la reconnaissance d'un taxon dans une nomenclature cherchant à rendre compte des fonctionnalités urbaines. La radiométrie de ce pixel va nous renseigner sur le matériau de la toiture ou du sol entre les bâtis (chaussée, parking, trottoir, cour, jardin...); ou, encore plus exactement, non sur la nature, mais sur la couleur de ce matériau; couleur en partie indépendante de la nature du matériau (toutes les tuiles d'argile n'ont pas la même couleur) et, bien évidemment, indépendante de sa fonction urbaine (les chaussées ont des couleurs très variées selon le type de revêtement).

Dès lors, s'il est toujours possible d'obtenir une classification radiométrique, une bonne corrélation entre ces classes et des taxons de la nomenclature tient plus de l'accident fortuit que de l'établissement d'une loi applicable dans des conditions et des lieux divers.

Les taxons que l'on peut identifier et classer avec une bonne fiabilité sur l'ensemble d'une ville sont assez peu nombreux. Si la saison est favorable, cela se résume à : minéral, végétation herbacée, végétation arborée ou arbustive.

Il semble plus rigoureux, alors, de classer sur l'aspect spatial de la répartition de ces différents taxons : minéral, végétation herbacée, végétation arborée ou arbustive, que de tenter d'améliorer la classification par la recherche d'une plus grande discrimination radiométrique.

D'autre part, comme l'ont relevé tous les auteurs, les pixels en milieu urbain sont, de par la nature de ce milieu, forcément formés par la radiométrie provenant d'objets très différents. Ces pixels de radiométrie mixte, quelquefois appelés "mixels", sont à l'évidence difficiles à classer. Ils forment l'écrasante majorité des pixels en milieu urbain.

Pour résoudre ce problème, le Service Central des Etudes et Enquêtes Statistiques du Ministère de l'Agriculture a pratiqué des classifications dites par "champs" (SCEES - CNES, 1984). Dans sa thèse, Alain MICHEL (1988) a repris cette idée pour le milieu urbain en effectuant sur Marseille des classifications par zones.

C'est la voie que nous comptons suivre, aussi bien pour l'analyse que pour la classification.

B/ LES OPERATIONS

Dans notre démarche d'identification et de suivi des transformations rapides de l'espace, une série d'opérations enchaînées sont définies.

- 1 ère opération : la cartographie des contours.

Nous venons de voir que les objets et les zones discernés sur l'image satellitaire ne sont pas, sauf cas d'exception, directement identifiables en terme de fonctionnalité urbaine.

Mais l'opération de cartographie peut être décomposée en quatre opérations :

- recherche du contenant,
- identification du contenant,
- recherche du contenu,
- identification du contenu.

Ces opérations peuvent être considérées et effectuées indépendamment les unes des autres.

Il nous semble possible, avec l'imagerie Spot, d'effectuer la recherche et le tracé du contenant sans avoir besoin de l'identifier. Pour cela, il nous semble suffisant de relever et de tracer tous les éléments linéaires qui peuvent servir de limite.

Lors de la recherche du contenant, il n'est pas indispensable de savoir avec certitude si tel élément linéaire, qui est probablement une voie, est un cheminement piétonnier ou une route revêtue pour le repérer et le tracer. De même, il n'est pas indispensable de connaître la nature des éléments linéaires qui permettent de détourner une parcelle; ils peuvent être haie, mur, chemin, fossé etc...

L'objectif est de dessiner des zones **identifiables sur le terrain**, c'est à dire **utiles pour l'intervenant**. De très nombreuses opérations, de nature très diverse, réclament une cartographie **d'identification de zones de travail sur l'ensemble de l'espace considéré** : recensements, planification, aménagements...

Il importe de noter qu'il s'agit d'obtenir, non pas seulement des éléments linéaires, mais des zones : c'est-à-dire des entités dont le contour est fermé et ceci pour trois raisons : l'identification de zones, la correspondance avec les modes d'appréhension des SIG et le traitement des données SPOT par zones.

-Pour pouvoir identifier et numéroter les zones, tous les espaces seront détournés; c'est à dire que toutes les limites seront dessinées, certaines, si nécessaire, arbitrairement. Certes, on cherchera à appuyer ce découpage sur le plus grand nombre de limites visibles, mais il importe peu qu'une zone soit "mal découpée", **il faut d'abord qu'elle existe**. L'hypothèse sous-jacente est que les éléments linéaires, fondement de ce découpage, sont, **en milieu urbain**, presque uniquement l'expression de la voirie et que les espaces que cette voirie découpe dans le tissu urbain ont, à différents niveaux, une signification tant en terme de connaissance de l'espace urbain qu'en terme d'action sur cet espace. La probabilité est donc très grande en milieu urbain d'avoir des zones dont la voirie forme le contour (essentiellement, mais pas exclusivement, des pâtés de maisons).

-Pour correspondre à la fois au mode d'appréhension actuel du SIU de QUITO (système d'informations urbaines de type SIG) et à la conception du MOS (mode d'occupation du sol) de la région parisienne. C'est sur ces deux terrains que la recherche va s'appliquer.

-Pour permettre l'analyse de la répartition radiométrique des données de SPOT selon une approche par zone.

NB : Pour des raisons urbanistiques particulières, on pourrait avoir besoin de découper l'espace, en installant la voirie comme axe central. Des entités zonales peuvent alors être tracées d'après une distance à une voie de référence. Notons que les traitements d'image actuels nous permettent de passer d'un type de découpage à l'autre.



Tracé de la voirie sur le nord de Quito

- 2^{ème} opération : la reconnaissance des objets

Pour les raisons que nous avons évoquées plus haut, le choix n'est pas de développer une méthode de reconnaissance des objets spécifiques tels que stades, chantiers, immeubles de très grande hauteur, jardins.... ni, à fortiori, d'établir une nomenclature donc de tendre à une reconnaissance exhaustive des objets urbains.

Notre démarche consiste à discerner, à l'intérieur de ces zones, une classe d'objets: les surfaces minérales de forme compacte. Elles peuvent relever de fonctions différentes: chantiers, parkings, bâtiments eux-mêmes à fonctions diverses (industrielle, d'habitat...). Il ne s'agit pas de chercher à identifier la nature de ces surfaces minéralisées mais d'en faire un comptage et de pouvoir considérer leur implantation dans la zone (surface, répartition).

- 3^{ème} opération : la comparaison entre deux dates

Il s'agit de discerner les éventuels changements entre deux dates.

La comparaison d'enregistrements à des dates différentes (deux ou plus) ne va pas de soi. En effet, le même objet a, presque toujours, une réflectance différente lors de ces enregistrements.

Puisque sont mesurées les ondes réfléchies par l'objet, les conditions d'éclairement de l'objet déterminent sa réflectance. Or, cet éclairement dépend de la hauteur du soleil au dessus de l'objet (elle-même dépendant de la saison et du type de visée : verticale ou oblique) ainsi que du filtre atmosphérique ce jour là.

De plus, le même objet peut être de couleur différente entre les deux enregistrements, d'autant plus qu'il est formé quasi toujours de "mixels" et que certains de ceux-ci intègrent des éléments naturels. Dès lors, la saison, qui compte beaucoup dans la couleur de la végétation, va interférer de façon non négligeable. La couleur des revêtements eux-mêmes varie en fonction de la saison, entre une fin de saison des pluies ou les revêtements seront "lavés" et une fin de saison sèche où s'est accumulée la poussière, leur couleur sera différente. Un simple accident atmosphérique (pluie, tornade de poussière, pollution...) peut avoir interféré, même entre deux dates proches. De même qu'interférera de façon très importante la réfection d'un revêtement, selon son type et la date à laquelle elle a été effectuée.

Notre approche, en terme d'identification, à l'intérieur des zones, des surfaces minérales compactes, nous permet d'échapper en partie à ces aléas.

Plusieurs cas de figure peuvent alors se présenter :

- apparition de surfaces minérales de forme compacte dans une zone jusqu'alors de milieu naturel, ou inversement, cas plus rare en milieu urbain, disparition de surfaces minérales au profit du milieu naturel;
- apparition de nouvelles surfaces minérales dans une zone en comportant déjà;
- extension (ou réduction) de la (ou des) surface minérale dans la zone.

Les changements sont donc recherchés par appréhension des nouveaux objets "minéraux" (ou "végétaux"). Le diagnostic se fait zone par zone, en donnant le nombre et la surface des objets nouveaux. Dans cette optique, une simple évolution radiométrique n'est pas forcément considérée comme un indicateur de changement d'affectation du sol. En fonction de l'occupation antérieure de la zone, on déterminera des seuils radiométriques signifiants, d'abord de l'apparition d'un objet nouveau et, éventuellement, du changement d'affectation de la zone.

La comparaison d'objets passe nécessairement par un calage géographique dont la précision est en rapport avec la taille des objets comparés. Pour cela, la rectification géométrique des images se fait avec des pixels de cinq mètres, en ayant une précision de l'ordre du demi pixel. La méthode utilisée, décrite dans SEMINFOR III (LORTIC B., 1989), allie les performances visuelles d'un observateur et les outils informatiques et s'inspire de la méthode SSDA (Sequential Similarity Detection Algorithm).

La première phase consiste à prendre visuellement, par scintillement, un canevas de points d'appui assez grossier. Le canevas doit être renforcé en terrain accidenté. Ce canevas permet d'effectuer un premier recalage géométrique dans lequel l'erreur ne dépasse pas 10 pixels.

On réitère ensuite la prise de points d'appui par une méthode automatique d'autocorrélation spatiale (Indice : Somme des valeurs absolues des différences des pixels homologues) sur une fenêtre 9x9 ou 25x25. On peut ainsi recalibrer de façon très précise des images ou des cartes présentant des déformations relatives très importantes.



*Superposition de l'image SPOT de Quito
et du fond cartographique de l'A.I.Q.*

C/ LE CADRE ET L'OUTIL

Le programme d'utilisation de la télédétection se situe, aussi bien à Quito que pour Marne la Vallée, dans un cadre informatisé de gestion de données localisées. Le système "SAVANE" que nous utilisons présente la particularité d'associer les méthodes rasters et vecteurs en fonction

entre autres de la provenance des données. Logiquement, et pratiquement, les données sont stockées sous la forme même où elles ont été recueillies : une carte d'un institut de sondage sera stockée par zones sous forme vectorielle, une image satellite est stockée sous la forme d'une matrice de pixels.

Ceci permet de traiter les données comme on le veut : le mode d'occupation des sols peut être accessible zone par zone, îlot par îlot; une classification de la végétation d'après une image satellite peut l'être sous forme matricielle.

Ceci permet aussi de modifier le mode spatial du traitement de la donnée. On peut ainsi facilement modifier la taille du pixel, en prenant différents modes de ventilation; on peut aussi modifier la forme du découpage des zones ; passer, par exemple, du type : district de recensement défini par un pâté de maisons, au type : zone formée par les deux cotés d'une même rue.

CONCLUSION

Cette série d'opérations, une fois conduites à leur terme, devrait nous permettre de mettre au point et ensuite de proposer aux opérateurs sur le milieu urbain (praticiens et chercheurs) une méthode de suivi cartographique des transformations de l'espace urbain à partir de données de télédétection spatiale.

Les éléments produits doivent permettre :

- pour l'ensemble de l'espace urbanisé, une première approche de l'ampleur des modifications et leur localisation précise;
- à un niveau plus fin, le constat de l'évolution du tissu sur une zone (ou des zones) très précise;
- pour un objet donné, enfin, l'observation de sa déformation éventuelle.

En fonction de son objectif, l'opérateur pourra, alors, caractériser la transformation. Cela nécessitera, la plupart du temps, un déplacement sur un certain nombre de lieux de ces transformations. Grâce aux documents produits, le temps de la caractérisation, si c'est l'objectif, sera réduit car le déplacement sera spécifique.

BIBLIOGRAPHIE

LORTIC B., 1989. Le recalage d'images par pointés stéréoscopiques vidéo. Communication au colloque SEMINFOR III, ORSTOM, Bondy, 1989, 10 p.

SCEES - CNES, 1984. Simulation SPOT Lauragais. Résultats 1981. Tome 1. Paris, 120 p.