

ANALYSE DE LA CROISSANCE URBAINE DE MEXICO SUR IMAGES SATELLITAIRES

Jean-Michel EBERHARD

Géographe, allocataire MRT, département SUD

Laboratoire d'accueil : LIA ORSTOM Bondy (équipe SATFORM,
responsable C. MERING)

Direction de thèse : M.F. COUREL (Paris X - EHESS)

Mexico, plus grande ville du monde avec environ 20 millions d'habitants, continue de croître selon un taux de croissance annuel de 3 à 5 %. Cette croissance n'est pas sans amener de profondes modifications dans le paysage urbain, en particulier dans les périphéries de l'agglomération, modifications qui ne sont pas uniformes en nature ou en ampleur, mais se focalisent sur certaines régions.

L'importance des volumes en cause dans le cas de la ville de Mexico laisse penser que certains aspects de cette dynamique peuvent être analysés par l'intermédiaire d'images satellitaires. Si la résolution des capteurs actuels (10m au sol en panchromatique et 20m en multibande pour SPOT) ne permet pas toujours de déceler des événements ponctuels d'urbanisation (construction de maisons isolées), elle rend possible néanmoins l'observation et le suivi de phénomènes d'ampleur, à l'échelle de ceux que l'on perçoit dans la mutation des espaces à Mexico.

L'étude de télédétection que je mène un an et demi se propose de suivre et de caractériser la croissance physique de l'agglomération dans les quartiers où elle est la plus marquée, par analyse et comparaison des images acquises par SPOT à différentes dates : 1986, 1988 et 1990. Le cadre géographique se limite à la périphérie Sud et Sud-Est de Mexico et inclut la municipalité de Chalco. Ce travail mené dans le cadre du *Proyecto Chalco* par l'ORSTOM et l'Université Autonome Métropolitaine à Xochimilco, avec financement de la CEE, fait l'objet d'une thèse de Doctorat en Géographie urbaine.

Les données utilisées sont celles fournies par les images SPOT multibandes et panchromatiques, respectivement acquises en Mars et Mai 1986.

Afin de parvenir à une comparaison des images et à une qualification de leurs différences, le travail a été divisé en *deux étapes* :

- la mise en évidence sur l'image des caractères liés à l'occupation du sol urbain par le bâti (étape d'apprentissage sur l'image de base de 1986) ;
- une formalisation de la comparaison entre images pour l'extraction des zones urbanisées entre deux dates, que l'on caractérisera à leur tour selon les critères arrêtés dans la première étape (étape d'application sur les images postérieures à 1986).

Pour se faire, l'étude comporte *deux axes principaux* :

- une analyse "en laboratoire" des données SPOT, au cours de laquelle, on tentera une discrimination sur l'image des régions périphériques bâties de celles non bâties ; et la sélection de critères de caractérisation parmi ceux qu'offrent les méthodes de traitement et d'analyse d'images ;
- l'élaboration d'une "vérité terrain" dans les banlieues étudiées, à l'aide d'un questionnaire adapté à la mise en relation des caractères géographiques avec les caractères isolés et étudiés sur l'image.

Le traitement en laboratoire a comporté la délimitation visuelle des aires périphériques selon les critères de couleur et de texture qui apparaissent sur une composition colorée, soit par continuité spatiale de ces critères, soit par comparaison de ces critères avec ceux des aires voisines. Ce zonage est simplifié et corroboré par une classification radiométrique (méthode des Nuées dynamiques) à partir des trois canaux bruts de SPOT, classification de type *non dirigée*, c'est à dire dans laquelle l'utilisateur n'intervient que pour déterminer le nombre de classes, mais ne précise en rien la valeur des *centres de ces classes*. Le problème du choix de nombre de classes se pose néanmoins à

l'utilisateur; le présent travail inclut une proposition de méthode simple pour aider à ce choix ; la méthode utilisée ici fait apparaître une partition en 6 classes dans un premier temps comme optimale (dans le contexte de la classification par Nuées dynamiques).

Dans l'ensemble, la délimitation visuelle correspond bien aux aires obtenues par classification, ce qui est logique étant donné que les couleurs représentées sur la composition colorée sont fonction des réponses radiométriques.

Parmi les 6 classes obtenues, 3 correspondent sur le terrain à des surfaces végétalisées typiques reconnaissables à leurs fortes réponses dans le canal 3 de SPOT (proche infrarouge). Deux autres concernent des surfaces bâties, ou des sols nus, caractérisés par de fortes réponses dans les trois canaux. La dernière apparaît comme une classe intermédiaire, qui regroupe diverses proportions dans les rapports surface végétale / surface minérale. On peut essayer de reclasser cette classe intermédiaire séparément des autres, de façon à discriminer le "plutôt végétal" du "plutôt minéral", et récupérer ainsi une part de l'information urbaine. Cela n'a pas encore été tenté.

A l'intérieur de chacune des aires dont la délimitation a été décrite ci-dessus, on a isolé une zone visuellement représentative, dont la taille et la forme ont été fixées à un carré de 50 pixels de côté. En effet, certaines méthodes d'étude de texture d'image requièrent un nombre minimal d'individus pour conserver la représentativité de l'aire étudiée (environ 2000 pixels pour la méthode des *matrices de cooccurrence*). Par ailleurs, une zone de 50 pixels de côté représente un kilomètre-carré sur le terrain, superficie encore accessible à un enquêteur muni d'un questionnaire rapide.

Pour ces zones d'entraînement repérées sur l'image, au nombre d'une trentaine, divers paramètres sont calculés pour en caractériser la structure (texture, granulométrie, linéaments, proportions respectives des classes radiométriques,...) dans le but de construire des *prototypes* de périphéries à partir de l'image qui rendraient compte de la morphologie des quartiers : densité du bâti, sa dispersion, la taille des ses blocs, son émiettement, la présence ou non de voirie, les réseaux, le substrat, l'état de la végétation environnante (opposition jardins arrosés en saison sèche-terrains vagues secs...). Le logiciel Planètes, utilisé ici pour le traitement des images, permet de réaliser de tels développements, notamment avec ses programmes de Morphologie Mathématique (COSTER M. et CHERMANT J.L., 1985 ; MERGHOUB

Y., 1985). Ceux-ci en effet rendent possible le calcul de la taille des éléments constituant l'image (granulométrie), la reconnaissance, la reconstruction éventuelle et l'extraction des linéaments... méthodes déjà utilisées pour d'autres problématiques mais non urbaines (archéologie : DEBAINE F. et al., 1989 ; milieu naturel sahélien : JACQUEMINET C. et al., 1989).

Quant à la texture de l'image (vue ici comme l'agencement entre eux des niveaux de gris des pixels), elle permet d'estimer la continuité spatiale des objets occupant le sol. Par exemple une succession sur le terrain de bâtis et de jardins se traduit généralement sur l'image par une information plus "accidentée", une grande discontinuité des niveaux de gris entre pixels voisins, au contraire de champs représentés sur l'image par une plage de niveaux de gris uniformes, une portion d'image à texture régulière. La comptabilisation des ces "sauts" de niveaux de gris, quantifie la texture. Des méthodes comme l'écart-type local ou la matrice de cooccurrence en niveaux de gris (LAPORTE J.M., 1983), expérimentées sur Marseille (MICHEL A., 1988) et sur Quito (EBERHARD J.M., 1987), sont particulièrement adaptées à cette approche. Pour sa finesse de résolution, l'image panchromatique est d'un grand intérêt, mais les méthodes peuvent être appliquées sur des images d'autres natures, y compris les images classées (agencement spatial d'un thème, ou de thèmes entre eux).

Les réseaux de voirie peuvent être repérés et reconstitués par Morphologie Mathématique, mais aussi par Transformées de Fourier, celles-ci mettant en évidence la périodicité des signaux. Cette méthode, également appliquée sur Quito, apporte une quantification dans l'étude des morphologies urbaines "en damier", fréquentes dans les villes latino-américaines et en particulier à Mexico.

L'ensemble de ces quantifications est en cours.

La constitution de la vérité terrain est basée sur un questionnaire rempli par un enquêteur sur une surface d'environ un kilomètre-carré par site enquêté. Ce questionnaire s'inspire des concepts du "Paysage visible" de Th. BROSSARD et J.C.WIEBER (1980) ; simple et rapide, il doit rendre compte des principaux éléments immédiatement perceptibles qui constituent le quartier : bâti, voirie, substrat et, *a contrario*, la végétation, et, si possible, il doit en préciser l'état. Le questionnaire, en cours de conception, doit capter les traits les plus évidents et les plus représentatifs de la zone, ceux que l'information satellitaire est susceptible de contenir et de restituer, avec le principe que chaque question posée au terrain puisse être posée à l'image, au vocabulaire

près, de façon à établir des relations les plus directes possibles entre les deux sources d'information.

Par exemple, en ce qui concerne la voirie et le réseau :

questions sur le terrain	---->	questions sur l'image
voirie rectiligne?	----->	linéaments?
arbres ou ombres?	----->	discontinuité des linéaments?
espacement régulier des rues?	----->	périodicité?
revêtement, couleur?	----->	réponse radiométrique?

Le bâti, quant à lui, doit être décrit par des informations sur la densité de construction, sa concentration, la taille des bâtiments ou des blocs... autant de caractères avec lesquels, nous l'avons vu ci-dessus, il est possible de trouver des correspondances par traitement des images.

Comme il a été dit, l'**étude diachronique** consiste en la comparaison de scènes acquises à des dates différentes. En reclassant les images suivantes selon un processus identique au traitement de la première, il devrait être possible de mettre en évidence les nouveaux espaces construits, et de les caractériser par les mêmes critères. Les quartiers étudiés sur l'image précédente peuvent être réétudiés sur la scène suivante, et la modification de leurs caractéristiques pourrait apporter des informations sur les modes de croissance urbaine, de constitution et de développement des prototypes précédemment isolés, et peut-être de répondre à la question de savoir si les structures de l'urbanisation se répliquent de proche en proche et se déplacent avec le front urbain. S'il s'avère que les prémisses de l'urbanisation sont décelables par télédétection et si les étapes de l'avancée urbaine sont connues, il devient possible de faire de la prévision.

Désigner les régions à forte urbanisation et qualifier celles-ci représentent un grand intérêt pour les organismes et responsables chargés de la planification urbaine. Les difficultés à contrôler ou seulement à connaître les transformations de la cité sont d'autant plus grandes, que l'agglomération est vaste et la croissance rapide. En l'absence de statistiques fréquentes et fiables, la télédétection peut apporter régulièrement et à bas coût une information de base essentielle.

Bibliographie

BROSSARD Th. et WIEBER J.C., 1980.

Essai de formulation systémique d'un mode d'approche du paysage.

in: Paysage, Laboratoire de Géographie physique, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Besançon, Besançon, pp.103-111.

COSTER M. et CHERMANT J.L., 1985.

Précis d'analyse d'image.

Editions du CNRS, 520 p.

DEBAINE F., FRANCFORT H.C. et MERING C., 1989.

Analyse des images SPOT appliquée à la recherche archéologique au Nord-Ouest de l'Inde: recherche de linéaments.

in : Programme National de Télédétection Spatiale, colloque d'Orléans, Janvier 1989, Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n°115, 1989-3, Paris, pp.78-80.

EBERHARD J.M., 1988.

Caractérisation des quartiers périphériques de Mexico sur image SPOT : analyse comparée de la texture sur les données multibandes.

Communication aux Journées de télédétection, Bondy, 14-17 novembre 1988. Editions de l'ORSTOM, Collection Colloques et séminaires, pp. 179-192.

JACQUEMINET C., MERING C., PONCET Y., COUREL M.F., 1989.

Etude quantitative des formes d'organisation spatiale du couvert ligneux en milieu sahélien à partir des images satellitaires SPOT.

in : Programme National de Télédétection Spatiale, colloque d'Orléans, Janvier 1989, Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n°114, 1989-2, Paris, pp.20-22.

LAPORTE J.M., 1983.

Etude de la texture sur des simulations d'images du satellite de télédétection SPOT.

Université de Paris VII, thèse de Doctorat de 3ème cycle, Paris, 173 p.

MERGHOUB Y., 1985.

Reconnaissance et analyse des formes sur des images de télédétection, modélisation par la morphologie mathématique.

Université Paul Sabatier de Toulouse (Sciences), thèse de Doctorat de 3ème cycle, Toulouse, 167 p.