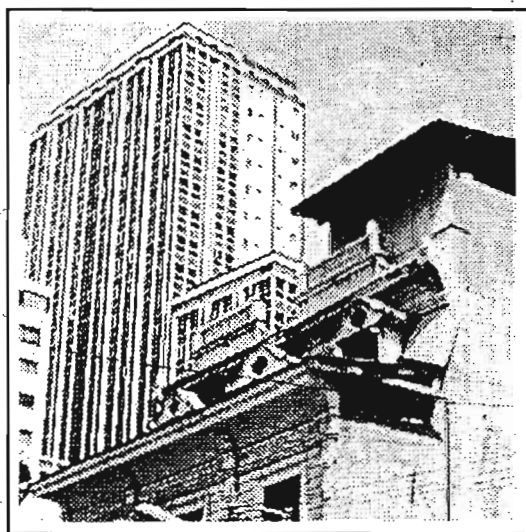


VILLES ET CITADINS DU TIERS MONDE

CAHIER N°4 - 1990



DOSSIER SUR
LA TELEDETECTION URBAINE
A L'ORSTOM

ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

VILLES ET CITADINS DU TIERS-MONDE

CAHIER N° 4

1990

DOSSIER SUR LA TELEDETECTION URBAINE A L'ORSTOM

Comité de rédaction
L. Bourgeois, J.P. Duchemin, E. Le Bris, A. Sinou

Dossier coordonné par F. Dureau

ORSTOM
INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

72 ROUTE D'AULNAY 93140 BONDY FRANCE

SOMMAIRE

LA TELEDETECTION URBAINE A L'ORSTOM	5
L'OBSERVATION DE LA TERRE PAR TELEDETECTION : PRINCIPES GENERAUX	13
UTILISER LA TELEDETECTION SPATIALE POUR OBSERVER LES POPULATIONS CITADINES	23
LA TRANSFORMATION RAPIDE DES ESPACES URBAINS : IDENTIFICATION ET SUIVI CARTOGRAPHIQUE SUR IMAGES SPOT, QUITO ET MARNE LA VALLEE	57
ANALYSE DE LA CROISSANCE URBAINE DE MEXICO SUR IMAGES SATELLITAIRES	69
UTILISATION DE LA TELEDETECTION DANS LE PROGRAMME URBANISATION ET SANTE A PIKINE (DAKAR)	77
L'IMAGERIE RADAR	83

INDICATIONS BIBLIOGRAPHIQUES	97
CHRONIQUE BIBLIOGRAPHIQUE	109
COLLOQUES ET SEMINAIRES	113
ACTUALITES DE LA RECHERCHE	115
LA SOCIETE CIVILE FACE A L'ETAT DANS LA TUNISIE CONTEMPORAINE: RADIOGRAPHIE D'UN SEGMENT REVELATEUR: LES JEUNES CITADINS	117
LE ROLE DE L'EMPLOI DANS LES STRATEGIES D'INSERTION URBAINE: LE CAS DES TRAVAILLEURS DU BATIMENT EN COLOMBIE	123
DE L'HABITATION SALUBRE AU LOGEMENT DE MASSE: L'EXPERIMENTATION EGYPTIENNE EN MATIERE D'HABITAT ECONOMIQUE ET SOCIAL	129

Les coûts de reproduction des illustrations couleurs du dossier ont été pris en charge par la Mission télédétection de l'ORSTOM.

LA TELEDETECTION URBAINE A L'ORSTOM

Françoise DUREAU

Géographe-démographe, ORSTOM, Département SUD, U.R. 5E

Juillet 1972. Dix huit années se sont déjà écoulées depuis que le premier satellite d'observation de la terre, LANDSAT 1, a été mis sur orbite. Au fil des ans, de nouveaux satellites, de plus en plus performants, se relaient à quelques centaines de kilomètres au dessus de nous, pour nous envoyer des images toujours plus précises de la surface terrestre. Tant que des nuages ne viennent pas s'intercaler entre le satellite et le sol, on dispose ainsi d'une observation quasi continue de tout point du globe terrestre.

Séduisante pour des chercheurs ou praticiens de l'urbanisme confrontés quotidiennement au manque d'informations sur des villes au rythme d'évolution très rapide, la permanence de l'observation n'est toutefois pas la seule caractéristique de la télédétection spatiale : si les satellites peuvent fournir des données sur l'occupation du sol, c'est en faisant appel à des systèmes d'acquisition de l'information particuliers, basés sur l'utilisation du rayonnement électromagnétique dans certaines longueurs d'onde.

L'information contenue dans les images satellite ne correspond pas à la vision directe des objets occupant la surface terrestre telle que nos yeux ont l'habitude de nous les faire percevoir : l'exploitation de ces images n'est pas immédiate et impose de recourir à des techniques spécifiques permettant d'extraire l'information recherchée. L'utilisation routinière de l'imagerie satellitaire passe nécessairement par une phase préalable de développement de méthodes d'interprétation adéquates.

Le dossier proposé aujourd'hui rend compte des essais d'application de la télédétection aux villes des pays en développement menés par des équipes du département SUD. Il témoigne de la contribution de l'ORSTOM à cette tâche, parfois ingrate, de mise au point d'outils d'analyse de l'information proposée par la télédétection spatiale ; à travers les exposés de quatre programmes de recherche, il révèle aussi la variété des utilisations qui sont faites des images satellite dans le processus de production de connaissance sur les villes des pays en développement.

L'image satellite, une source d'information récente encore sous-exploitée en milieu urbain

Jusqu'en 1984, la faible précision des images satellite disponibles a limité les applications de la télédétection spatiale au milieu urbain, caractérisé par l'hétérogénéité et la faible taille de ses éléments constitutifs : avec une résolution de 80 mètres, les images LANDSAT MSS ne permettaient guère de dépasser le stade de la mise en évidence de la tache urbaine.

La seule information réellement détectable sur les images MSS était la superficie urbanisée, sans qu'il soit possible de distinguer précisément différents types de quartiers au sein des agglomérations : les tentatives de classification des différents types d'occupation du sol en milieu urbain alors effectuées montraient l'inadéquation de la résolution spatiale des images MSS à l'étude des villes.

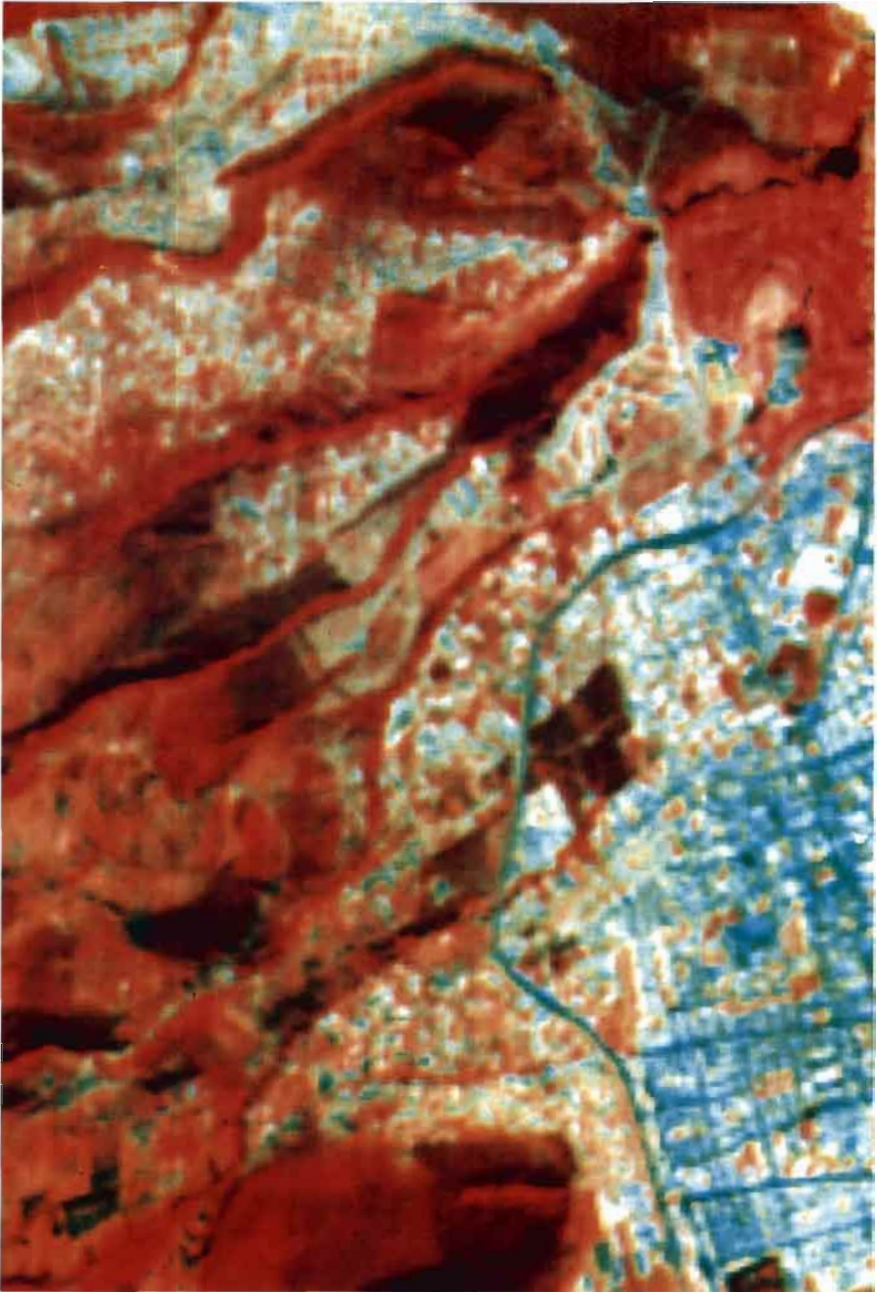
Peu efficaces dans un strict objectif de production d'information sur les zones urbanisées, ces travaux constituent toutefois un apport non négligeable sur le plan de la méthodologie en télédétection urbaine. Outre de premières conclusions sur les données radiométriques à utiliser et les méthodes de traitement à mettre en oeuvre, les travaux sur images MSS ont révélé une des questions centrales de la télédétection spatiale en milieu urbain : les problèmes de correspondance entre l'information recueillie par la télédétection, de nature *bio-physique* et les typologies usuelles en urbanisme, de nature essentiellement *fonctionnelle*.

Disponibles à partir du milieu des années quatre-vingt, les images SPOT et Thematic Mapper (TM) marquent le démarrage effectif des applications de la télédétection au milieu urbain : leur résolution, comprise entre 10 et 30 mètres, permettent d'appréhender certaines des caractéristiques des espaces urbanisés, d'entrer dans la ville, dont les portes n'avaient été qu'entrouvertes par MSS.

Sur les images TM (30 mètres), sont développées des méthodes pour extraire de l'image des informations sur la délimitation de l'espace urbanisé, la classification de l'occupation du sol, la densité de constructions. Les objectifs ne sont pas fondamentalement différents de ceux assignés à l'exploitation des images MSS, nombre de travaux étant toujours focalisés sur les questions d'occupation du sol, avec un intérêt particulier pour la végétation ; seulement, la meilleure résolution spatiale et la plus grande richesse de l'information sont à l'origine de résultats nettement meilleurs.

La meilleure résolution de SPOT (10 et 20 mètres) élargit le champ d'application des images satellite. Aux objectifs déjà visés avec les images TM, s'ajoutent des utilisations nouvelles : l'information

COMPOSITION COLOREE SPOT
Partie nord de Quito (EQUATEUR)



Echelle approximative : 1 /30 000 (1cm = 300 m)

apportée par SPOT sur la voirie fait de ce type d'image un outil intéressant pour produire rapidement des fonds de plan, étudier les structures urbaines. La possibilité d'obtention de couples stéréoscopiques d'images SPOT permet d'obtenir une information sur le relief ; elle devrait également nous informer sur la hauteur des bâtiments.

Longtemps restée entre les mains de quelques rares pionniers qui, confiant dans un avenir meilleur, ont travaillé dès les années soixante-dix sur des images satellite alors peu satisfaisantes, la télédétection spatiale en milieu urbain n'a commencé vraiment à se développer que depuis cinq années. Ne pouvant bénéficier que d'une faible part de l'acquis méthodologique de la télédétection en zones rurales et ne faisant encore l'objet que de trop rares travaux de recherche, le savoir-faire en télédétection urbaine est toujours réduit : on ne sait encore extraire qu'une toute petite partie des informations contenues dans des images satellite SPOT et TM.

La télédétection dans le processus de production de connaissances sur les villes

L'historique rapide de la télédétection urbaine que nous venons de dresser le suggère, et une analyse de la bibliographie française ou étrangère consacrée à des expériences de télédétection en milieu urbain le montrerait de façon plus évidente : la plupart des applications utilisent l'image pour produire une information localisée relative à l'aspect *physique* de la ville. Etablir une classification des différents modes d'occupation du sol, repérer les changements d'affectation du sol entre deux dates, les chantiers ou les espaces verts, repérer la voirie constituent les objectifs les plus fréquents de l'exploitation d'images satellite en milieu urbain.

En effet, tout comme la photographie aérienne, l'image satellite renseigne sur l'état physique de la portion d'espace couverte par le document ; il est donc logique que la démarche la plus courante en télédétection spatiale soit de produire des informations sur l'occupation de l'espace urbain.

Dans des villes connaissant des rythmes de croissance rapides, les techniques traditionnelles de production de cartographie de base sont trop lourdes à mettre en oeuvre pour assurer une réelle actualisation des documents cartographiques de référence. L'image satellite peut

permettre de repérer des objets urbains fondamentaux tels que la voirie et les îlots, et donc de produire rapidement des fonds de plan qui font actuellement défaut.

Au delà de cette utilisation cartographique, la télédétection constitue une source d'information précieuse pour établir un état de l'occupation d'un espace urbain ; et la répétitivité des observations font de la télédétection spatiale un outil particulièrement intéressant pour suivre les transformations, souvent rapides, de cet espace.

Gérer une ville, comprendre son fonctionnement et la production de l'espace urbain, autant d'opérations qui ne peuvent se satisfaire d'informations sur l'occupation du sol, mais réclament également des données relatives aux populations citadines.

Le fait qu'il existe certaines relations entre l'aspect *physique* d'un quartier et les caractéristiques de la population qui y réside ouvre à la télédétection le champ des applications ayant trait au domaine du "social" : l'information apportée par le satellite peut servir de *vecteur d'observation* dans un processus de production d'information démographique ou socio-économique.

Dans cette perspective, les images satellite sont exploitées pour produire une information intermédiaire, qui constitue une étape dans un processus de production de connaissances mettant en oeuvre d'autres sources que la télédétection : l'information recherchée n'est pas contenue dans l'image, mais l'existence de liens entre le phénomène que l'on cherche à observer et celui présent sur l'image permet de faciliter, accélérer la production de l'information sur ce phénomène.

On peut ainsi tirer parti de l'information exhaustive et finement localisée sur l'occupation de l'espace apportée par les images satellite pour *produire* rapidement, par sondage, une information démographique ou socio-économique.

L'image peut également servir non à produire, mais à *améliorer* une information socio-économique déjà existante : par l'information qu'elle apporte sur la morphologie d'une ville, l'imagerie satellitaire permet de distribuer des données démographiques ou socio-économiques d'origine censitaire ou administrative connues initialement selon des découpages géographiques grossiers et non significatifs.

L'exemple le plus immédiat a trait au calcul de densités de population. L'utilisation des seules données censitaires conduit à rapporter la population recensée dans un îlot à la surface totale de ce dernier ; repérer les zones non bâties sur une image satellite et calculer les densités en ne prenant en considération que les zones bâties, donc

susceptibles d'être habitées, rend nettement mieux compte de la réalité de la distribution spatiale de la population dans la ville.

Cette application n'est encore que rarement menée ; mais la multiplication des bases de données urbaines telles que celle de Quito, intégrant des images SPOT, devrait certainement donner lieu à de nombreux développements en ce sens au cours des prochaines années.

Dans les différentes approches que nous venons d'envisager, l'image sert à produire une information correspondant à des perceptions classiques de la ville : repérage des îlots urbains ou des chantiers, classement selon des densités des constructions ou des modes d'occupation du sol relèvent d'une approche de la ville correspondant aux outils d'observation habituels que sont l'observation au sol ou la photographie aérienne. Pourtant, concepts, problématiques et modes d'observation sont intimement liés. Pourquoi ne pas envisager une *relecture des espaces urbanisés* à partir de la perception qu'en a le capteur du satellite ?

Les programmes de recherche menés à l'ORSTOM

Débutée en 1982 avec des travaux réalisés par P. CAZAMAJOR, J.P. DUCHEMIN et B. LORTIC sur des simulations SPOT de Niamey, la télédétection urbaine a fait depuis de nouveaux adeptes à l'ORSTOM : à l'heure actuelle, quatre programmes de recherche utilisent des images satellite sur des zones urbaines.

Les lacunes de l'information disponible dans les villes du Tiers-Monde sont à l'origine de ces opérations utilisant l'imagerie satellitaire : l'identification d'un besoin d'information non satisfait conduit des chercheurs à rechercher une solution avec les images satellite.

Dans le programme Urbanisation et santé à Pikine (Sénégal), "définir les relations entre conditions d'habitat, modes de vie, accès aux soins et exposition à la vie et à la mort, et mettre en évidence l'hétérogénéité des faits de santé en ville (...) impose une connaissance précise de l'extension urbaine (...), des zones humides, des types d'occupations urbaines" : difficilement appréhendables par les techniques traditionnelles, ces informations sont recherchées sur des images satellite SPOT.

Confrontée au manque d'informations démographiques disponibles et à la relative inefficacité des méthodes traditionnelles de production d'information sur les populations citadines, j'ai travaillé avec une

équipe pluri-disciplinaire à la mise au point d'une méthode de sondage sur image satellite adaptée aux contextes des villes du Tiers-Monde : base de sondage et de stratification, l'image satellite constitue le pivot de la méthode de production d'information sur les populations citadines développée par cette équipe.

S'ils mettent en oeuvre des méthodes d'analyse de l'image relativement distinctes, les programmes menés sur Mexico et Quito sont tous deux axés sur le *suivi des changements dans l'occupation de l'espace urbain*.

Dans le programme de recherche qu'ils mènent avec A. BALLUT (IAURIF) et J. VEGA (Institut Géographique Militaire, Quito), J.P. DUCHEMIN et B. LORTIC cherchent "comment (...) la télédétection peut être utilisée pour une identification et un suivi cartographique des phénomènes de transformation rapide des espaces urbains": l'image satellite sert à identifier les espaces ayant connu des transformations, la caractérisation de celles-ci se faisant par des enquêtes sur le terrain. Les recherches menées à Mexico par J.M. EBERHARD dans le cadre du projet Chalco (ORSTOM - Université Autonome Métropolitaine de Xochimilco) sont axées sur le suivi et la caractérisation "de la croissance physique de l'agglomération (...) par analyse et comparaison des images acquises par SPOT en 1986, 1988 et 1990".

Dans les opérations de recherche menées actuellement, l'imagerie satellite participe selon des formes variées à la production des connaissances sur les villes des pays en développement : l'étendue des objectifs de la télédétection urbaine à l'ORSTOM est à la mesure des défaillances des méthodes d'observation traditionnelles des espaces urbanisés et des populations citadines, ainsi que des problèmes posés par la rapidité des transformations que connaissent ces villes.

La pénurie serait-elle féconde ? ... Les recherches que B. et M.C. LORTIC envisagent de mener sur l'imagerie radar sont une nouvelle preuve du bien-fondé de cet adage.

En effet, avec l'imagerie satellitaire classique (MSS, TM ou SPOT), "un nuage passe, pas de données!" ; or les nuages ont parfois la fâcheuse tendance à ne pas passer, mais au contraire à stagner au dessus de certaines villes... tout particulièrement dans les régions du globe où les équipes de l'ORSTOM interviennent traditionnellement.

Les images radar permettent de s'affranchir de la principale contrainte de l'imagerie satellitaire classique : la nébulosité. Dans les zones à nébulosité élevée, le radar offre donc une permanence effective de

l'observation beaucoup plus élevée que les systèmes satellitaires classiques comme SPOT ou TM. Continuité et qualité (résolution spectrale et spatiale) de l'observation contribuent à rendre l'imagerie radar particulièrement séduisante pour des applications en milieu urbain. D'utilisation difficile et encore au stade exploratoire, les données radar peuvent devenir dans les prochaines années une source d'information de qualité sur les zones urbaines.

Avant les exposés des programmes de recherche , un peu de technique !

Le dossier qui suit rend compte des quatre programmes de recherche en cours à l'ORSTOM, trop rapidement évoqués dans les lignes qui précèdent, et des perspectives ouvertes par les images radar.

Mais avant de pénétrer dans le vif du sujet, il est proposé au lecteur non familier de la télédétection spatiale de prendre connaissance des principes généraux de l'observation de la terre par télédétection spatiale : les quelques minutes consacrées à la lecture de cette introduction lui fourniront le bagage suffisant pour aborder les textes relatifs aux expériences en cours.

Nécessairement bref, cet exposé introductif ne prétend pas se substituer aux ouvrages de base de la télédétection spatiale : leurs références sont citées en fin de dossier, avec les indications bibliographiques relatives aux applications de la télédétection en milieu urbain menées à l'extérieur de l'ORSTOM.

L'OBSERVATION DE LA TERRE PAR TELEDETECTION SPATIALE : PRINCIPES GENERAUX

Françoise DUREAU

Géographe-démographe, ORSTOM, Département SUD, U.R. 5E

Le terme "télédétection" désigne tout système d'acquisition d'information sur des objets, sans contact direct entre l'instrument de mesure et l'objet. Dans ce vaste ensemble, la télédétection spatiale correspond aux techniques d'observation de la terre à partir de satellites, qui utilisent les propriétés du rayonnement électromagnétique.

C'est donc par la physique que nous débiterons notre introduction à la télédétection spatiale, passage délicat mais nécessaire pour aborder l'acquisition et la transmission des données satellitaires, puis les principes généraux de l'exploitation des images satellite.

1. LES PRINCIPES PHYSIQUES

Tous les systèmes d'acquisition en télédétection reposent sur la mesure des rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis par la surface terrestre.

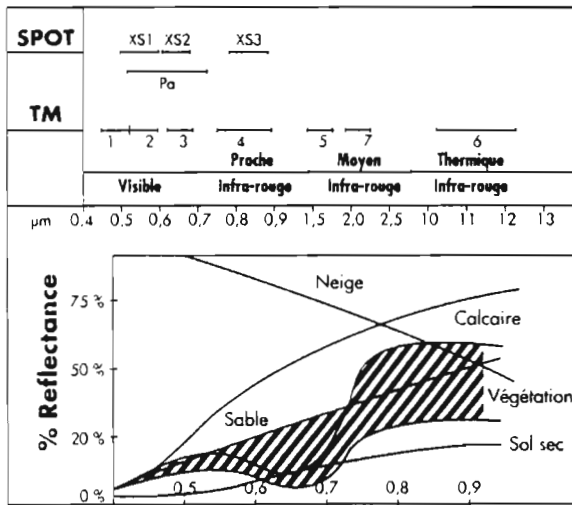
Tout corps terrestre émet de l'énergie sous forme électro-magnétique : les caractéristiques spectrales de cette émission varient en fonction de la température de ce corps, mais son maximum se situe toujours dans le domaine de l'infra-rouge thermique.

Le rayonnement solaire (ou rayonnement artificiel) qui atteint un objet de la surface terrestre subit 3 phénomènes, dont la part respective varie selon la longueur d'onde et selon les caractéristiques géométriques et physiques de cet objet : l'absorption, la diffusion (réflexion dans toutes les directions) et la réflexion spéculaire (réflexion selon une seule direction déterminée par l'angle d'incidence).

En dehors du domaine urbain, où l'on trouve de nombreux toits en pente, il est rarement observé de phénomène de réflexion spéculaire. Il s'agit

le plus souvent de réflexion diffuse du rayonnement incident par la surface terrestre. La part respective d'absorption et de diffusion du rayonnement varie selon les longueurs d'onde, en fonction des caractéristiques de l'objet. Ainsi, la matière végétale réfléchit peu dans le visible, mais beaucoup dans l'infra-rouge proche.

En raison de l'opacité totale de l'atmosphère pour certaines longueurs d'onde et de la diffusion importante des rayons ultra-violetes par l'atmosphère, le rayonnement émis et réfléchi par la surface terrestre ne peut pas être observé dans sa totalité à partir d'un capteur embarqué sur un satellite situé à 900 km de la terre. L'atmosphère n'est "transparente" que pour certaines longueurs d'onde : ce n'est donc que dans ces parties du spectre, encore appelées "*fenêtres atmosphériques*". que peut être réalisée l'observation de la terre depuis un satellite.



A l'heure actuelle, l'interprétation d'une image satellite est principalement fondée sur l'hypothèse qu'il est possible de reconnaître un certain nombre d'éléments présents à la surface de la terre à partir des valeurs de luminance de ces objets dans les différentes fenêtres du spectre électromagnétique, c'est-à-dire leur *signature spectrale*.

2. L'ACQUISITION DES DONNEES

Un système d'acquisition des données se définit par deux éléments :

- le *capteur*, c'est-à-dire l'appareil qui reçoit et mesure le rayonnement issu des objets au sol : émulsion photographique, radiomètre ou système électronique avec antenne tel que le radar ;
- le *vecteur*, c'est-à-dire le véhicule sur lequel est embarqué le capteur pour réaliser l'observation : ballon, avion, satellite.

Capteurs et vecteurs permettent de distinguer différents systèmes d'acquisition en télédétection ; les trois plus connus sont :

- émulsion photographique + avion ----> photographies aériennes ;
- radiomètre + satellite ----> images satellite ;
- radar + avion ou satellite ----> images radar.

Les deux premiers systèmes sont "*passifs*", c'est-à-dire qu'ils sont seulement récepteurs et mesurent l'énergie naturelle émise ou réfléchi par la surface terrestre, tandis que le système radar¹ est un système "*actif*" à la fois émetteur et récepteur, qui émet un rayonnement vers la zone observée et mesure le rayonnement qu'elle lui réfléchit.

2.1. Capteurs : les radiomètres

Un capteur se compose de trois éléments : le dispositif de collecte, le dispositif de détection et celui d'enregistrement. L'énergie électromagnétique reçue par l'optique est envoyée sur le détecteur et transformée en un signal électrique amplifié.

L'observation se fait par détection de lignes successives de la surface terrestre ; la largeur des lignes est de 60 km pour SPOT et 185 km pour Landsat. La détection de chaque ligne se fait soit par un système de miroir oscillant (système de balayage utilisé sur Landsat), ou par le système à barrettes (utilisé sur SPOT).

Les capteurs embarqués sur les satellites mesurent la *luminance* spectrale au sein d'une surface au sol de taille fixe : à cette unité de surface correspond une unité élémentaire de l'image appelée *pixel*. La luminance est mesurée à l'intérieur de plusieurs *bandes du spectre visible ou infra-rouge*, dont les bornes varient selon le capteur ; ces bornes sont choisies pour mieux discriminer les objets tout en minimisant

¹ Voir article de B. et M.C. LORTIC sur le système radar.

l'absorption due à l'atmosphère terrestre, et éviter la redondance de l'information.

Deux paramètres fondamentaux caractérisent donc les capteurs :

- *la résolution spatiale*, définie par la taille de la surface élémentaire au sol (*pixel*) pour laquelle on dispose de la mesure de luminance :

SPOT :

panchromatique : 10×10 m, soit 100 m^2

multispectral : 20×20 m, soit 400 m^2

Landsat Thematic Mapper (TM) :

infra-rouge thermique : 120×120 m, soit 1440 m^2

autres canaux : 30×30 m, soit 900 m^2 .

- *la résolution spectrale*, définie par le nombre et les caractéristiques des fenêtres à l'intérieur desquelles les mesures sont effectuées ; pour chaque pixel, il y a donc autant de mesures que de bandes spectrales :

SPOT :

mode panchromatique : 1 bande

mode multispectral : 3 bandes (XS1, XS2, XS3)

Landsat Thematic Mapper (TM) :

mode multispectral : 7 bandes (TM1 à TM7)

2.2. Vecteurs : les satellites

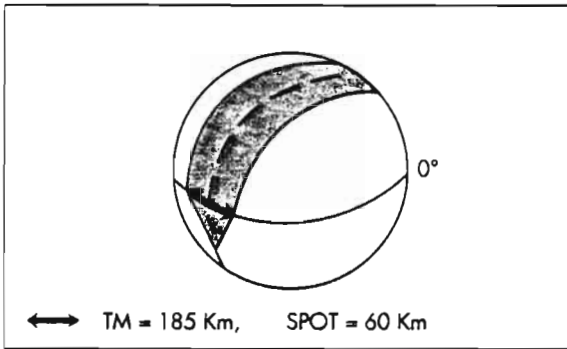
Deux grandes familles de satellites peuvent être distinguées selon les caractéristiques de l'orbite suivie :

- les *satellites géostationnaires* (ou géosynchrones) : le satellite se trouve toujours au dessus du même point du globe terrestre. Pour remplir cette condition, leur altitude est nécessairement voisine de 36.000 km : leur résolution spatiale est donc faible, mais leur champ d'observation est particulièrement vaste. Cinq satellites suffisent à couvrir la quasi-totalité du globe. Les images recueillies par ce type de satellite sont essentiellement utilisées en météorologie ;

- les *satellites à défilement* : un satellite héliosynchrone se déplace par rapport à la surface terrestre et repasse toujours à la même heure solaire locale au-dessus d'un point donné du globe. Ces satellites sont à une altitude comprise entre 700 et 900 km ; leur résolution atteint maintenant 30 mètres (TM) ou 10 mètres (SPOT).

2.3. La couverture du globe terrestre

La couverture quasi-totale du globe terrestre par les satellite à défilement est obtenue par la juxtaposition des bandes de surfaces terrestre observées par le satellite.



La largeur de la bande observable et la durée nécessaire au satellite pour parcourir une orbite complète déterminent le nombre de jours utiles pour qu'il réalise la couverture de l'ensemble du globe terrestre :

Landsat Thematic Mapper (TM)

- Une orbite en 103 mn, soit 14 tours de la terre en une journée
- Bande observée = 92,5 km de part et d'autre de sa trace au sol
- Ensemble du globe couvert en 18 jours

SPOT

- Une orbite en 101 mn, soit 14 tours de la terre en une journée
- Bande observée = 60 km de part et d'autre de sa trace au sol
- Ensemble du globe couvert en 26 jours.

Le schéma de couverture du globe décrit ci-dessus ne tient compte que des observations réalisées sur une bande située à la verticale du satellite. Si tous les Landsat sans exception ne peuvent fonctionner que de cette façon, il n'en est pas même pour SPOT. En effet, grâce à un miroir orientable, l'axe de visée peut être décalé de +/- 27° par rapport à la verticale. Ce système permet d'observer une bande de +/- 475 km de part et d'autre de la trace au sol du satellite, au lieu des seuls 117 km observables à la verticale.

Deux propriétés découlent de la possibilité de visée latérale de SPOT :

- pendant une période de 26 jours, la possibilité d'observer une même zone 7 fois (à l'Equateur) ou 11 fois (à 45° de latitude) ;
- l'obtention de couples stéréoscopiques permettant d'appréhender le relief.

3. TRANSMISSION ET DIFFUSION DES DONNEES

3.1. La transmission au sol

Les capteurs embarqués sur les satellites mesurent une grandeur physique appelée *luminance spectrale*. Après avoir été codées entre 0 et 255, ces informations sont transmises au sol, où elles sont reçues par des stations de réception et stockées sur support magnétique sous forme d'image matricielle.

La transmission peut être :

- *instantanée*, lorsque le satellite se trouve à l'intérieur du cercle de visibilité d'une station de réception (environ 2.600 km de rayon) ;
- *en différé*, quand il se trouve à l'extérieur de ce cercle. Dans ce cas, les données doivent être stockées en mémoire dans l'attente du survol d'une station : ce système suppose une grande capacité de stockage et un fonctionnement sans discontinuité du dispositif d'enregistrement si l'on veut éviter l'absence d'image sur certaines régions du globe.

3.2. Les pré-traitements

Les images reçues par les stations ne sont pas directement utilisables ; avant d'être diffusées, elles doivent faire l'objet de corrections géométriques et radiométriques.

Les *corrections radiométriques* sont fondées sur le réétalonnage du radiomètre, qui permet une égalisation relative des mesures de ses détecteurs.

Les *corrections géométriques* sont destinées à corriger les effets du mouvement secondaire du satellite dans les trois dimensions (lacet, roulis, tangage).

En cas de relief important, avec les corrections géométriques standard, les images obtenues ne sont pas superposables à une carte ; ce résultat ne peut être obtenu que par un traitement particulier nécessitant une information sur le relief de la zone (carte topographique, ou Modèle Numérique de Terrain, c'est-à-dire un fichier donnant l'altitude de tous les points du terrain selon un maillage régulier).

3.3. Les produits diffusés

Les résultats sont commercialisés :

- soit sur support photographique (film, ou tirage papier),
- soit sur support magnétique (bande magnétique ou disquette).

Pour SPOT, il est possible de choisir parmi les niveaux de prétraitements selon le degré de précision géométrique désiré.

Les images couvrent une zone correspondant à une scène, soit :

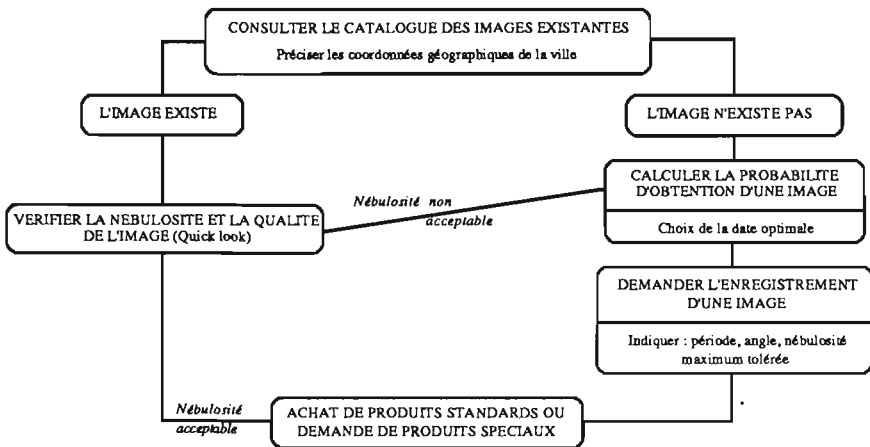
- 185 x 185 km pour Thematic Mapper et,
- 60 x 60 km pour SPOT.

Dans le cas d'études ponctuelles, on peut acquérir 1/4 de scène seulement (soit 30 x 30 km pour SPOT, et 90 x 90 km pour TM), ou un extrait d'image SPOT de 10 x 10 km.

3.4. Modalités d'acquisition des images

Les satellites SPOT et Landsat TM n'enregistrent pas de façon continue : l'enregistrement est programmé par les sociétés exploitant les satellites en fonction des commandes et de leurs propres impératifs. Il existe donc, pour SPOT comme pour TM, un catalogue des images enregistrées, avec leurs caractéristiques : date d'enregistrement, pourcentage de nuages sur l'image, qualité de l'image, angle de visée pour SPOT.

Si l'on souhaite acquérir une image sur une zone donnée, la démarche à suivre la suivante :



4. TRAITEMENTS ET INTERPRETATION DES DONNEES

Devant la masse d'informations contenues dans une image satellite, l'utilisateur doit recourir à des techniques d'aide à l'interprétation.

Les documents satellitaires peuvent se présenter, nous l'avons vu, sous forme d'image sur support photographique ou sous forme numérique sur support magnétique . Cette double présentation des données implique des traitements techniquement différents (dans le 1er cas, traitements photo-chimiques, dans le 2ème cas, traitements numériques), mais qui fondamentalement répondent aux mêmes objectifs :

- description statistique de l'image ;
- sélection de l'information ;
- amélioration d'image ;
- classification de l'information ;
- création d'une nouvelle information adaptée au thème étudié.

La description statistique de l'image consiste à décrire les séries statistiques constituées par les valeurs radiométriques des pixels, considérés soit canal par canal (statistique unidimensionnelle), soit sur différents canaux pris simultanément (statistique multidimensionnelle). Ces calculs préliminaires (histogramme, mode, moyenne, variance, corrélation,...etc) permettent de voir quel(s) canal(aux) est le plus pertinent par rapport au thème étudié, de sélectionner ainsi les canaux à utiliser pour l'étude et de déterminer les traitements à réaliser pour optimiser les conditions d'interprétation.

Les techniques de sélection de l'information visent à éliminer une partie de l'image, sélectionnée d'après :

- un critère spatial : délimitation d'une zone géographique à exclure de la suite des traitements, ou
- un critère spectral : élimination des pixels ayant des valeurs radiométriques données.

En amélioration d'image, deux grands objectifs sont visés :

- augmentation des contrastes locaux ou généraux, et
- amélioration de la résolution ou de l'acuité.

Toujours dans le but d'améliorer la lisibilité de l'image, des techniques de gradients (filtres) peuvent permettre de dégager les contours et les éléments linéaires de l'image.

Les méthodes de classification constituent un moyen de synthétiser l'information en rassemblant par classes les pixels aux valeurs radiométriques les plus proches. Ces classifications peuvent être basées sur les valeurs radiométriques dans un seul canal, ou sur une combinaison des valeurs prises dans différents canaux.

Ces classifications peuvent être :

- totalement *automatiques* : dans ce cas, on applique des techniques de partitionnement direct, sans contraintes, sans hypothèses préalables ;
- *supervisées* : l'utilisateur garde un contrôle sur la classification en imposant des vérités terrain (données ponctuelles recueillies par observations directes au sol ou issues d'une source considérée comme absolument fiable), ou des contraintes telles que des seuils de classification.

La création d'une nouvelle information

Il peut être très efficace de créer des "*néo-canaux*", en affectant à chaque pixel de l'image une valeur résultant d'une combinaison de ses valeurs dans deux ou plusieurs canaux. Cette combinaison peut être réalisée selon différents procédés :

- *combinaison colorée* : une couleur primaire est affectée à chacun des trois canaux (par exemple pour SPOT, XS1 : bleu, XS2 vert, XS3 : rouge) ; puis, les trois canaux sont superposés afin d'obtenir une représentation en couleur qui allie les propriétés discriminantes de chacun d'eux. Pour SPOT, un tel traitement fera apparaître la végétation en rouge, couleur affectée au canal XS3, dans lequel la végétation possède une valeur de luminance forte. Ce type de traitement, très souvent employé, conduit à une analyse visuelle de l'image selon des procédés voisins de ceux pratiqués en photo-interprétation ;
- *calcul d'indices*, combinant mathématiquement les valeurs radiométriques prises dans plusieurs canaux. Les plus courants sont les indices de végétation et les indices de brillance.

Toutes ces techniques sont étroitement liées : le passage de l'une à l'autre est incessant au cours de l'analyse d'une image satellite. L'introduction de vérités-terrain, indispensable, oriente les traitements.

UTILISER LA TELEDETECTION SPATIALE POUR OBSERVER LES POPULATIONS CITADINES

Françoise DUREAU

Géographe-démographe, ORSTOM, Département SUD, U.R. 5E

Rythmes, caractéristiques de l'urbanisation, modes de résidence des habitants et déficience des éléments de connaissance classiques, tels que cartes, plans cadastraux, ou fichiers administratifs, contribuent à rendre particulièrement difficile l'observation des populations citadines des pays en développement.

Les instruments traditionnels de l'observation socio-démographique, recensements exhaustifs et enquêtes par sondage probabiliste, se révèlent difficiles à mettre en oeuvre et ne satisfont pas correctement les besoins de la recherche ni de la gestion urbaine. Le coût de la collecte et les durées d'exploitation des recensements limitent leur périodicité à un rythme d'environ dix ans, insuffisant pour un suivi de populations urbaines à croissance rapide ; quant aux enquêtes par sondage, l'absence de base de sondage complète et à jour hypothèque souvent leur réalisation et leur fiabilité, déjà affectée par l'emploi de concepts peu adaptés à l'observation des réalités locales en matière de résidence et d'activité.

Face à ce constat, il nous a paru nécessaire de tenter d'améliorer l'observation des populations citadines, en développant une nouvelle méthode de collecte de données démographiques adaptée aux spécificités des villes des pays en développement. A cet effet, la télédétection spatiale assurant une observation continue et relativement précise de l'occupation du sol, constitue une source de données particulièrement intéressante : comme l'ont montré depuis les années cinquante les travaux réalisés sur photographies aériennes¹, on peut utiliser avec profit l'information exhaustive sur la morphologie urbaine

1 Une synthèse des expériences d'utilisation de photographies aériennes pour produire des données démographiques est présentée dans le premier chapitre de l'article : "Pour une méthode de collecte démographique en ville intégrant la télédétection spatiale", DUREAU F. et BARBARY O., 1987, collection Informatique et Sciences Humaines, EHESS, 42 p.

pour recueillir rapidement, par sondage, des données relatives aux populations urbaines.

Dans cette perspective, le Département D (Urbanisation et socio-systèmes urbains) de l'ORSTOM a donc initié en 1985 un programme de recherche¹ dont l'objectif central était de *développer une méthode de collecte de données démographiques en milieu urbain intégrant l'information apportée par les satellites à haute résolution sur la morphologie urbaine, adaptée aux caractéristiques de l'urbanisation dans les pays en développement et aux contextes locaux d'information, d'équipement, de moyens humains et financiers.*

A l'issue de deux années de développement méthodologique mené sur les villes de Marseille (FRANCE) et Quito (EQUATEUR), nous avons pu réaliser la première application en vraie grandeur de notre méthode de collecte : au cours du dernier trimestre 1987, nous avons effectué une enquête démographique par sondage, sur un échantillon d'îlots tiré sur une image satellite SPOT de Quito. Cette enquête a confirmé l'intérêt de la méthode développée et permis d'évaluer tant son niveau de précision que les coûts qu'impliquent sa mise en oeuvre.

Les recherches ont été menées par une équipe pluridisciplinaire, réunissant des compétences en démographie, statistique, télédétection et urbanisme, composée de :

BARBARY O., statisticien, ex-allocataire de recherche MRT (1985-1988), ORSTOM, SUD, U.R. 5E

DUREAU F., géographe-démographe, responsable du programme de recherche, ORSTOM, SUD, U.R. 5E

LORTIC B., ingénieur télédétection, ORSTOM, SUD, U.R. 5F

MICHEL A., urbaniste spécialisé en télédétection, ex-allocataire MRT (1985-1988).

Ont également participé à certaines phases des travaux :

M. SOURIS et F. PELLETIER (infographie),

A. AING et I. RANNOU (traitements photographiques).

¹ La définition du programme de recherche est exposée dans : DUREAU F. et GUILLAUME A., 1984. "De l'usage de la télédétection pour l'observation socio-démographique en milieu urbain tropical". ORSTOM, Bulletin du Département D, n° 10, pp. 8-15.

C'est à la présentation du programme de recherche, des hypothèses qui le sous-tendent, des travaux effectués et des résultats obtenus qu'est consacré cet article ¹.

Utiliser la morphologie urbaine comme vecteur de l'observation démographique en ville n'est pas une pratique nouvelle. Par contre, l'utilisation de la télédétection spatiale à des fins de sondage pour des enquêtes démographiques en ville nécessitait des recherches approfondies dans plusieurs directions de recherche : nous décrirons ces travaux avant d'aborder la présentation et l'évaluation des principaux résultats.

1. HYPOTHESES ET OBJECTIFS

1.1. PROBLEMES POSES PAR LA PRODUCTION D'INFORMATION SUR LES POPULATIONS DES VILLES A CROISSANCE RAPIDE DES PAYS EN DEVELOPPEMENT

Pour produire des informations sur les populations, le démographe dispose de deux techniques de collecte des données : le recensement, exhaustif, et l'enquête par sondage, où n'est observée qu'une partie de la population, appelée échantillon.

Les *recensements exhaustifs* exigent des moyens techniques, financiers et humains considérables qui interdisent une périodicité inférieure à une dizaine d'années et conduisent à une réduction importante de l'information recueillie lors de chaque opération de collecte.

De plus, le temps nécessaire à leur exploitation rend souvent les résultats caducs dès leur parution pour des villes dont les taux de croissance peuvent dépasser 10 % par an. L'absence de cartographie de base dans nombre de villes, principalement dans les zones d'extension récente, et les problèmes de suivi de la masse d'enquêteurs que réclame ce type d'opération ont des répercussions importantes sur la qualité des résultats.

1 Pour plus de détail sur les résultats fondamentaux obtenus dans chacun des domaines de la recherche, le lecteur se reportera aux rapports scientifiques intermédiaires et aux thèses cités à la fin de cet article. Ces différents textes ont servi de base à la rédaction du présent article, qui intègre certains paragraphes des écrits présentant les résultats de chacun des chercheurs ayant participé au programme.

Enfin, l'ampleur des moyens à mettre en oeuvre pour un recensement conduit à une sous-exploitation des données recueillies exhaustivement. Pour alléger l'exploitation de l'information collectée, on ne réalise souvent qu'une exploitation par sondage des questionnaires, ou d'une partie seulement des variables du questionnaire, et ne sont publiés que les résultats globaux sur l'ensemble de la ville : la principale qualité des recensements, l'exhaustivité, qui permet théoriquement d'obtenir des résultats pour tout type de découpage géographique, est remise en cause par une exploitation partielle de l'information recueillie.

Basées sur l'observation de la seule fraction de la population composant l'échantillon, les *enquêtes par sondage* présentent comme intérêt de réduire les moyens financiers et humains à mobiliser, et d'assurer une meilleure qualité de la collecte, par des enquêteurs moins nombreux et mieux encadrés, qui recueillent des informations plus riches que celles autorisées dans le cadre d'un recensement.

Mais, dans de nombreuses villes des pays en développement, un facteur essentiel fait défaut pour procéder à la sélection de l'échantillon à enquêter : une base de sondage complète et à jour (c'est à dire actualisée, sans omission ni répétition), condition sine qua non de tout tirage d'échantillon statistiquement représentatif. Cette information n'est quasiment jamais disponible dans les villes du Tiers-Monde où les documents cartographiques sont rares et anciens. L'actualisation par de nouveaux relevés de terrain d'une base cartographique vieillie est souvent problématique dans un tissu urbain affecté de modifications rapides. Trop souvent, l'attention portée à l'actualisation de la cartographie reste très en dessous de celle réclamée par ces travaux et entraîne des biais importants.

D'autre part, les plans de sondage classiques interdisent généralement toute spatialisation des résultats puisqu'ils n'intègrent quasiment jamais une stratification spatiale de la ville enquêtée : les résultats obtenus ne permettent donc pas de connaître les différences internes à la ville en matière de densité de population, ou de composition démographique ou socio-économique. C'est pourtant un élément essentiel de connaissance tant pour les gestionnaires de la ville que pour les chercheurs.

Dans villes des pays en développement, déficience de l'information cartographique de base et modalités de l'urbanisation se conjuguent pour rendre peu efficaces les techniques classiques de collecte des données démographiques : dans un tel contexte, celles-ci ne permettent pas de réaliser dans de bonnes conditions une observation *suivie* et *spatialisée*

des populations citadines. Que proposer pour tenter d'améliorer l'observation des populations citadines du Tiers-Monde ?

1.2. UTILISER LA MORPHOLOGIE URBAINE POUR ESTIMER LES POPULATIONS CITADINES : UNE METHODE DEJA ANCIENNE PRATIQUEE SUR PHOTOGRAPHIES AERIENNES

Viser une amélioration des recensements exhaustifs offre peu d'intérêt, puisque ceux-ci demeureront toujours trop longs à mettre en oeuvre et à exploiter ; il apparaît certain que *seul un système basé sur la technique des sondages peut remplir les conditions de souplesse et de rapidité nécessaires dans les villes à croissance démographique rapide.*

Dans ce cadre, *une meilleure connaissance de l'espace intra-urbain peut être un élément fondamental d'amélioration des techniques d'enquête par sondage.* D'une part, une bonne connaissance cartographique permet de disposer d'une base de sondage de qualité, composée d'îlots précisément identifiés ; d'autre part, une bonne connaissance de la morphologie urbaine permet de stratifier la ville en augmentant sensiblement le gain de précision qu'introduit toute stratification, et d'obtenir des résultats selon un découpage spatial significatif de la ville enquêtée.

C'est ce type de raisonnement qu'a mené VERNIERE, puis les différents bureaux d'étude qui ont appliqué les méthodes de production de données démographiques à partir de photographies aériennes : dans le cas des pays africains disposant de couvertures aériennes mais manquant de données démographiques, ces méthodes ont trouvé un champ d'application privilégié.

En effet, depuis les années trente, des chercheurs étudiant le milieu urbain se sont intéressés aux relations entre les caractéristiques morphologiques des résidences et les caractéristiques démographiques et socio-économiques des habitants : les travaux des américains tels que KENZIE ou PARK ont reçu un écho certain en France, où se sont développées à partir des années cinquante des études sur le même thème (CHOMBART DE LAUWE).

La mise en évidence des relations entre la morphologie urbaine et les caractéristiques de la population citadine établies par ces travaux ont été à l'origine du développement de méthodes d'estimation de population à partir de l'information sur l'occupation du sol apportée par les photographies aériennes.

Ainsi, depuis trente ans environ, ont été accumulées de nombreuses expériences d'utilisation de la morphologie urbaine pour la production rapide de données démographiques. Les niveaux d'utilisation de la morphologie urbaine sont variés : depuis les méthodes les plus globales, ne retenant de la morphologie urbaine que la surface urbanisée, aux méthodes détaillées reposant sur des comptages de logement, en passant par les méthodes semi-globales, basées sur les typologies de quartiers. Ces méthodes, pour la plupart mises au point par des scientifiques travaillant sur des villes de pays développés, ont trouvé depuis la fin des années soixante un écho certain parmi les urbanistes opérant dans des villes des pays en développement, où elles ont aussi fait la preuve de leur efficacité.

1.3. DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES AUX IMAGES SATELLITE A HAUTE RESOLUTION

Le recours aux photographies aériennes sur les centres urbains des pays en développement devient de plus en plus problématique. En effet, les couvertures aériennes des villes de ces pays sont de plus en plus rares en raison de l'ampleur des moyens qu'elles réclament et de la priorité souvent donnée au milieu rural : dans ces villes, la répétitivité de l'observation aérienne devient une réalité de moins en moins effective. Il devient donc difficile d'employer les techniques de production de données démographiques basées sur l'emploi de photographies aériennes.

Cependant, jusqu'au milieu des années quatre-vingt, rares sont les expériences d'utilisation des images satellite pour la production de données démographiques : à partir de notre recherche bibliographique, en 1985, nous avons eu connaissance que de cinq applications, toutes basées sur la méthode globale d'estimation de la population totale d'une ville à partir de la superficie urbanisée mesurée sur image satellite, LANDSAT dans la plupart des cas.

Cet état de fait est directement lié au degré de résolution des images LANDSAT (80 m x 80 m), seules disponibles jusqu'en 1985 : cette résolution insuffisante a freiné l'utilisation de l'imagerie satellitaire en milieu urbain, caractérisé par une forte hétérogénéité et une faible dimension des éléments constitutants. Avec l'imagerie LANDSAT, il n'était pas envisageable d'observer les différenciations morphologiques internes à la ville, et donc d'appliquer d'autres méthodes de production de données démographiques que les méthodes globales reliant population et surface de la ville.

La mise en service de nouveaux satellites au milieu des années quatre-vingt change largement la situation de la télédétection appliquée au milieu urbain : SPOT et TM ont une résolution suffisante (respectivement 10 / 20 mètres, et 30 mètres) pour observer assez finement le tissu urbain. Il devient alors possible de faire profiter le milieu urbain des atouts des images satellites, notamment : exhaustivité spatiale, coût raisonnable (environ 10 fois moins que les photographies aériennes), caractère numérique des données, richesse de l'information enregistrée, avec possibilité de vision stéréoscopique (SPOT).

Il nous a donc semblé intéressant de *tester les possibilités de mise en oeuvre de méthodes d'observation démographique intégrant les données morphologiques observables sur image satellite*, afin de tenter d'apporter des éléments de solution aux carences de l'observation démographique classique ou par photographies aériennes. Il s'agissait de tirer parti des qualités des images satellite en s'appuyant sur l'acquis méthodologique constitué par les travaux antérieurs de production de données démographiques à partir de photographies aériennes.

L'idée centrale restait la même que pour les photographies aériennes : utiliser l'information exhaustive sur la morphologie urbaine apportée par les images satellite pour recueillir rapidement, par sondage, les données relatives aux populations urbaines. Il s'agissait *d'utiliser l'image satellite comme base de sondage et d'exploiter l'information morphologique sur le milieu urbain que fournit l'image pour stratifier un plan de sondage spatial* applicable à une enquête démographique.

L'utilisation d'une image satellite comme base de sondage reposait sur deux hypothèses :

- il est possible d'extraire d'une image SPOT ou TM les limites d'une agglomération urbaine ;
- on peut sélectionner sur une image satellite un échantillon d'unités spatiales.

Quant à l'utilisation d'une image en matière de stratification, elle reposait sur les deux idées suivantes :

- il existe certaines relations entre caractéristiques morphologiques du milieu urbain et caractéristiques démographiques et socio-économiques des habitants ;
- on peut identifier sur des images SPOT ou TM des caractéristiques morphologiques pertinentes pour l'observation démographique.

Autant d'hypothèses qu'il importait de vérifier et de développer : nous allons voir maintenant quels furent la démarche adoptée et les travaux réalisés dans cette perspective.

2. CONCEPTION GENERALE ET REALISATION DU PROGRAMME DE RECHERCHE

2.1. CONCEPTION GENERALE DU PROGRAMME : UN DOUBLE SOUCI D'OPERATIONNALITE ET DE VALIDATION DE LA METHODE

Au moment du démarrage de notre programme, en 1985, l'introduction de la télédétection spatiale dans un système de production de données démographiques constituait un champ nouveau de recherches.

Les acquis en télédétection urbaine étaient alors peu nombreux : ils portaient essentiellement sur le traitement multi-dates de l'occupation du sol, l'évaluation de la quantité de végétation et l'observation des franges urbaines. L'analyse précise de l'information apportée par les capteurs à haute résolution en milieu urbain et le développement de méthodes spécifiques d'extraction de cette information restaient à poursuivre.

Quant aux sondages aréolaires, l'expérience demeurait limitée, surtout en démographie où l'habitude est toujours de tirer des échantillons de ménages ou d'individus sur liste. Que ce soit aux Etats Unis ou en France, l'essentiel de l'expérience dans ce domaine relevait de la statistique agricole : en 1985, seul le SCEES¹ avait obtenu des résultats intéressants sur l'intégration de la télédétection dans le système de production de statistiques agricoles en développant des méthodes de sondage aréolaires.

Ainsi, la réalisation de l'objectif du programme ne pouvait s'appuyer que sur un acquis méthodologique relativement limité dans chacun des deux grands domaines auquel il a trait (*l'interprétation des images satellite à haute résolution en milieu urbain et les sondages spatiaux en démographie urbaine*) et nécessitait des travaux approfondis dans ces deux directions de recherche.

Etant donné l'objectif du projet, proposer une méthode *opérationnelle* pour produire rapidement de l'information démographique en ville, et son caractère tout à fait exploratoire, un double souci a guidé la conception du programme :

¹ SCEES = Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques, du Ministère de l'Agriculture.

- d'une part, *tester la validité des méthodes mises au point au fur et à mesure de l'avancement des travaux ;*
- d'autre part, *proposer des solutions adaptées aux contextes matériel, financier et humain des villes des pays en développement.*

C'est en fonction de ces deux paramètres qu'ont été déterminés les sites de travail, les différentes phases du programme (Figure 1) et les plans d'expérience.

Afin de disposer de références fiables, nous avons choisi de travailler d'abord sur une ville française, Marseille, disposant d'une image TM, d'un recensement récent disponible au niveau du district de recensement et d'une couverture aérienne à grande échelle : l'intégration de l'ensemble de ces informations dans une base de données gérée par le système d'information géographique SAVANE¹ nous a placés dans une situation d'expérimentation quasi-idéale. Toute méthode d'analyse de l'image satellite pouvait être évaluée en comparant ses résultats à l'information morphologique issue de la photo-interprétation et de contrôles terrain ; les travaux en sondages spatiaux bénéficiaient également de ce contexte d'information exhaustive, permettant de calculer les variances obtenues selon différents plans de sondage, et de mettre en relation les données morphologiques et démographiques.

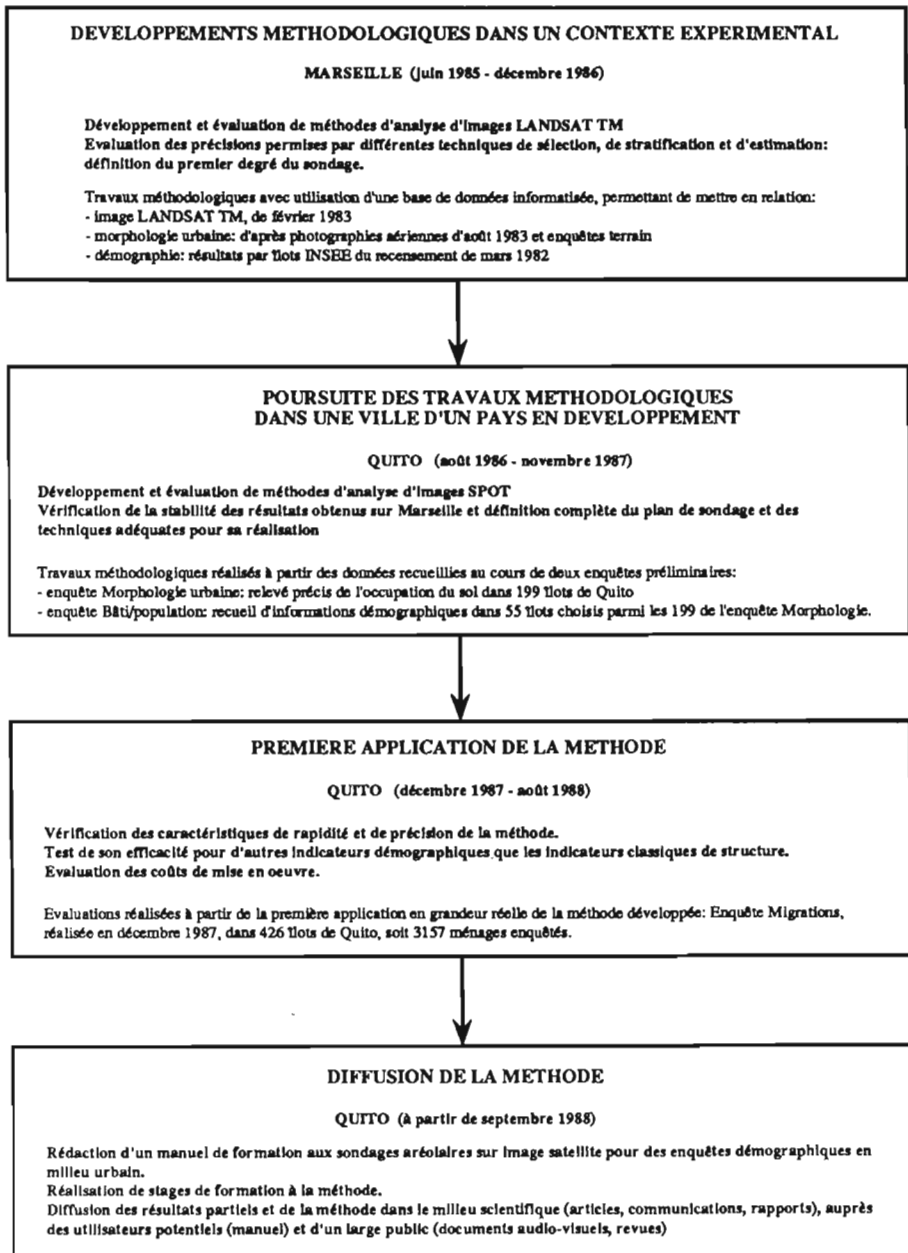
Après cette première phase de développement méthodologique sur la ville de Marseille, nous avons travaillé sur la ville de *Quito* (EQUATEUR), qui disposait d'images satellite SPOT et LANDSAT TM. Deux objectifs étaient assignés à cette seconde phase de la recherche, dans une ville d'un pays en développement : compléter et vérifier les résultats obtenus sur Marseille afin d'aboutir à une définition complète de la méthode, et réaliser une première application afin de tester son efficacité en termes de rapidité, coût et précision.

2.2. PREMIERE PHASE DE LA RECHERCHE : MARSEILLE

La zone d'étude, rassemblant environ 3000 districts de recensement, a été déterminée de manière à couvrir les différents types de quartiers de Marseille : quartiers industriels et de grands ensembles ouvriers du nord, quartiers résidentiels du sud, centre-ville, et zones pavillonnaires de l'est de la commune. Après une phase de travail consacrée à la constitution de la base de données, les différentes directions de

¹ Système développé par l'Unité d'Infographie de l'ORSTOM.

Figure 1 - Les différentes phases du programme de recherche



recherche de notre programme ont été menées simultanément, leurs résultats se conditionnant mutuellement.

Si la base de données concernait l'ensemble de la zone d'étude, tous les travaux méthodologiques n'ont pas été réalisés sur l'intégralité de cet espace. En effet, il était nécessaire d'extraire un échantillon pour la mise au point des méthodes relatives à l'interprétation d'images satellite : en procédant ainsi, nous avons pu vérifier la validité des traitements mis au point, c'est à dire tester qualitativement et quantitativement leur efficacité. Travailler sur un échantillon nous a permis de contrôler en permanence les méthodes développées, en les testant sur un espace disposant d'une information morphologique et démographique de référence.

Cherchant à extraire de l'image satellite une information morphologique efficace pour stratifier une ville devant faire l'objet d'une enquête démographique par sondage, les recherches en télédétection urbaine ont débuté, bien évidemment, par la *densité du bâti*, dont l'importance a été confirmée ultérieurement par les travaux en sondage ; elles se sont poursuivies par une ébauche de *typologie de l'espace urbanisé* à partir de l'image TM.

Parallèlement aux travaux en télédétection urbaine, les recherches en sondages visaient à répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les critères morphologiques pertinents pour établir la stratification d'une ville en vue d'une enquête démographique par sondage ?
- Quelle est la stratégie de sondage à la fois praticable et efficace ? Comment prévoir le gain apporté par une stratification donnée ? Quels sont la taille et le nombre de strates qui maximisent le gain de précision ? Quel doit-être le mode de tirage de l'échantillon (aléatoire ou systématique) et quelle probabilité de tirage en découle ? Quel estimateur utiliser ?

Pour répondre à ces questions, différentes stratégies de sondage ont été évaluées en soumettant les données exhaustives du recensement de population de l'INSEE à un programme informatique qui, en appliquant les formulaires associés à un plan de sondage donné, calcule la variance exacte des estimateurs correspondants.

A l'issue de cette étape de développement méthodologique sur Marseille, nous disposons donc d'une première série de résultats :

- chaîne de traitements opérationnelle pour obtenir une classification de l'espace urbanisé selon la densité du bâti à partir d'une image TM, et intégrer cette information dans une base de données localisées ;
- mesure du gain de précision apportée par une stratification selon la densité du bâti extraite de l'image satellite pour une série d'indicateurs démographiques ;
- définition du mode de sélection des îlots ;
- choix des estimateurs à utiliser.

Restaient à vérifier la portabilité des résultats obtenus à Marseille en télédétection comme en sondage et à les compléter pour aboutir à la définition et à la validation complètes de la méthode : c'était l'objet de la seconde phase de la recherche, menée à Quito dans le cadre du programme Atlas Informatisé de Quito¹.

2.3. DEUXIEME PHASE DE LA RECHERCHE : QUITO

L'objectif de cette seconde phase des travaux, sur Quito, était double :

- poursuivre les développements méthodologiques afin d'aboutir à la définition complète du plan de sondage à mettre en oeuvre à partir d'une image satellite ;
- réaliser une application en vraie grandeur de la méthode pour vérifier ses caractéristiques de rapidité et de précision, évaluer les coûts de sa mise en oeuvre et mesurer son efficacité pour d'autres indicateurs démographiques que les indicateurs classiques de structure.

En effet, à l'issue des recherches sur Marseille, un certain nombre de questions de méthode restaient posées :

En télédétection :

- comment délimiter la zone urbanisée sur image satellite ?

¹ Programme de recherche auquel participent la Municipalité de Quito, l'Institut Géographique Militaire, l'Institut Panaméricain de Géographie et d'Histoire et l'ORSTOM (Département SUD, U.R. 5E et 5F).

- quelle est la chaîne de traitements la plus pertinente pour classer une image SPOT selon la densité du bâti, et quelle est l'efficacité de cette stratification ?
- quelle est la méthode la plus efficace pour mesurer la superficie des îlots, information indispensable au calcul des estimations à partir des informations collectées sur l'échantillon ?

En matière de sondages, outre les tests pour vérifier la stabilité des résultats obtenus sur Marseille, l'essentiel des problèmes à résoudre avaient trait :

- à la probabilité de sélection des îlots : doit-elle être proportionnelle à la surface bâtie ou à la surface totale ?
- aux caractéristiques du second degré du sondage : quels doivent être les taux et les techniques de sélection à appliquer ?

Afin de pouvoir rechercher des réponses à ces différentes questions et disposer des éléments nécessaires à l'application de la méthode, nous avons réalisé deux enquêtes préliminaires :

- l'enquête Morphologie urbaine (Octobre-Décembre 1986) a consisté à relever de manière précise l'occupation du sol dans un échantillon d'îlots de l'agglomération quiténienne, afin d'initialiser et tester la fiabilité des traitements des images satellite ; en raison de ces deux objectifs, 199 îlots ont été enquêtés.
- l'enquête Bâti-Population (Avril 1987) avait pour objet de recueillir des informations démographiques sur un sous-échantillon de 55 îlots choisis parmi les 199 enquêtés sur le plan morphologique : l'exploitation conjointe de l'information morphologique et démographique collectée sur ces 55 îlots est à l'origine de nouveaux résultats méthodologiques indispensables pour la définition complète du plan de sondage.

Pour la mise en oeuvre du plan de sondage de l'enquête Migrations, nous n'avons utilisé que *les documents de base susceptibles d'exister dans toute ville des pays en développement* (image satellite, et plans de ville non actualisés) et les résultats des deux enquêtes préliminaires ; nous nous placions ainsi dans une situation comparable à celle des sites auxquels notre méthode était destinée.

Les autres types d'information sur la morphologie urbaine existant à Quito mais généralement pas dans d'autres villes (photographies

aériennes récentes à grande échelle, plans au 1/2 000 actualisés) n'ont été consultés qu'à la fin de l'expérimentation, afin de mesurer la précision de chacune des étapes de sélection de l'échantillon ; de même, afin de pouvoir mesurer le gain de précision apporté par la seule utilisation de l'information morphologique extraite de l'image SPOT, nous n'avons pas cherché à améliorer cette stratification en ayant recours aux connaissances existant sur la ville.

A l'issue de cette seconde phase de nos travaux, sur Quito, nous avons donc mis au point et évalué toutes les étapes d'une méthode de production rapide de données démographiques par sondage aréolaire sur image satellite ; à partir de Septembre 1988, nous avons fait porter nos efforts sur la diffusion de la méthode, parallèlement à l'exploitation et à l'analyse démographique des résultats de l'enquête Migrations (structures de la population ; analyse des systèmes de résidence et pratiques professionnelles).

3. RESULTATS

Les travaux menés sur les sites de Marseille et Quito ont conduit à un certain nombre de résultats, concernant les méthodes d'analyse des images SPOT ou TM en milieu urbain et les sondages aréolaires à objectif démographique en ville ; c'est l'utilisation cohérente de l'ensemble de ces résultats qui a permis de *définir l'ensemble de la chaîne d'opérations nécessaire à la mise en oeuvre d'un sondage probabiliste à partir d'image satellite pour la production rapide de données démographiques en milieu urbain.*

La plupart des développements méthodologiques réalisés en télédétection urbaine dans le cadre de ce programme de recherche peuvent être utilisés en dehors de la problématique de mise au point d'une méthode de production de données démographiques : nous rappellerons donc d'abord ces résultats de portée plus générale avant de présenter l'enchaînement des opérations qui permet de sélectionner rapidement un échantillon sur image satellite pour réaliser une enquête démographique dans une ville ne disposant d'aucune base de sondage classique.

3.1. SYNTHÈSE DES RESULTATS EN TELEDETECTION URBAINE

Les résultats obtenus en méthodes d'analyse des images SPOT et TM s'inscrivent dans trois grands axes de travail : délimitation de la zone urbaine, classification de la zone urbanisée, observation des changements entre deux dates.

Comme le montre le tableau 1, dans certains cas les recherches ont débouché sur des méthodes d'ores et déjà opérationnelles, tandis que dans d'autres domaines, elles ont permis une avancée méthodologique notable, mais, n'étant pas encore directement applicables, ces méthodes ne peuvent pas encore être intégrées dans un système routinier de production d'information.

Les photographies couleurs présentées au centre de la présente publication illustrent deux des utilisations qui peuvent être faites dès maintenant des images satellites dans une perspective de production de données démographiques par sondage en milieu urbain : *délimitation, et stratification de la base de sondage.*

3.2. LA METHODE D'ENQUETE DEMOGRAPHIQUE PAR SONDEGE AREOLAIRE SUR IMAGE SATELLITE

3.2.1. Description générale

Le résultat principal de nos recherches est la mise au point et l'évaluation d'une méthode de production rapide de données démographiques en ville par sondage aréolaire sur image satellite ; cette méthode, définie à partir des résultats obtenus sur Marseille et Quito, a été appliquée pour la première fois en décembre 1987 à Quito, pour une enquête Migrations.

Prenant en considération les contraintes d'application de la méthode dans des villes des pays en développement, les conséquences de l'utilisation d'une image satellite comme base de sondage et les résultats des expérimentations préliminaires sur les villes de Marseille et Quito, nous avons abouti à la définition d'un plan de sondage aréolaire sur image satellite adapté à notre objectif : la production rapide de données démographiques en ville . Le tableau 2 en précise les principales caractéristiques.

Tableau 1 - Résultats obtenus en télédétection urbaine

OBJECTIF	OBSERVATIONS
Intégration images satellite/ système d'information géographique	Utilisation combinée d'un SIG (SAVANE) et d'un logiciel de traitement d'image satellite, développé par l'Orstom. Facilite le développement de nouvelles méthodes d'analyse en télédétection; permet d'enrichir et actualiser rapidement une base de données, grâce à la télédétection.
Aide au tracé de la limite urbaine à partir de l'analyse numérique d'une image SPOT	Méthode simple, opérationnelle, d'aide à la décision pour définir sur des critères physiques constants la limite urbaine (seuillage de l'indice de végétation et de l'écart-type local calculé sur le canal panchromatique).
Extraction automatique du réseau de voirie sur image SPOT	Chaîne de traitements de morphologie mathématique, appliqués à une image résultant de la somme du canal panchromatique et du canal XS3. Pas encore satisfaisant dans un strict objectif d'extraction de voirie, mais efficace pour segmenter une image afin de créer des zones devant être classées.
Classification d'une image SPOT ou TM selon la densité du bâti	Deux méthodes, opérationnelles, pour classer une image en 6 niveaux de densité du bâti: classification de pixels, ou classification de zones issues de la segmentation de l'image ou de la digitalisation de plans urbains.
Typologie de l'espace urbain par analyse numérique d'une image SPOT ou TM	Méthodes basées sur l'analyse statistique fine de la radiométrie (quantiles) à l'intérieur de zones issues de la segmentation de l'image. Améliorations à envisager en intégrant la taille, la hauteur et la répartition des bâtiments (procédures automatiques à développer)
Analyse numérique des textures et structures	Essai de caractérisation et classification des quartiers des quartiers sur image SPOT en fonction de leur texture (matrices de cooccurrence) et de leur structure (transformée de Fourier). Recherches à poursuivre.
Détection des changements intervenus entre deux dates (images SPOT)	Composition colorée combinant le canal panchro. à deux dates différentes. Permet de détecter toute modification de l'occupation du sol.

COMPOSITION COLOREE SPOT - Quito (EQUATEUR)



Echelle approximative : 1 /100 000

La méthode de sondage développée consiste en un *sondage aréolaire à 2 degrés* :

- au 1er degré : les aires sélectionnées sont des *îlots*. Le tirage systématique à l'aide d'une grille de points assure une bonne répartition géographique des îlots, qui contribue à améliorer la précision des résultats ; la précision des estimations est également améliorée par une stratification sur la morphologie des quartiers.

Tableau 2 - Caractéristiques du plan de sondage

Structure générale	Sondage aréolaire stratifié à deux degrés Unités primaires = îlots Unités secondaires = ménages
Base de sondage	Ensemble de l'aire urbaine, dont sont exclues les zones non bâties
Stratification	Stratification à partir de la classification de l'image satellite en fonction de la densité du bâti.
Sélection des îlots (premier degré)	Sondage spatial systématique à l'aide d'une grille de points superposée à l'image satellite, le placement initial de la grille sur l'image étant aléatoire. Taux respectant la règle d'allocation aux strates choisie: proportionnelle ou optimale. Probabilité de sélection proportionnelle à la surface des îlots.
Sélection des ménages (deuxième degré)	Tirage équiprobable systématique sur liste des ménages de chaque îlot de l'échantillon. Taux variable selon le nombre de ménages de l'îlot.
Estimateurs	Total: estimateur sans biais sous plan à probabilités proportionnelles aux surfaces des îlots. Quotient: estimateur du ratio sous plan à probabilités proportionnelles aux surfaces des îlots.

- au 2ème degré : les unités enquêtées sont des *ménages*. Du fait du caractère marginal de la variance intra-îlots au regard de la variance inter-îlots, il y a intérêt à pratiquer le plus fort taux possible au premier degré, en n'enquêtant qu'une faible fraction des ménages au second degré.

L'image satellite sert :

- 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 ;
- à la *stratification* de la base de sondage : une technique efficace (réduction d'environ 40 % de l'erreur d'échantillonnage) et adaptée au savoir-faire actuel en télédétection urbaine est la stratification sur le critère de densité du bâti ;
- à la *sélection d'un échantillon d'îlots* géographiquement répartis sur l'ensemble de la ville.

3.2.2. Les étapes de sa mise en oeuvre

Pour mettre en œuvre le plan de sondage décrit ci-dessus, un certain nombre d'opérations doivent être réalisées ; la figure 2 résume l'enchaînement de ces différentes étapes. Les paragraphes suivants sont consacrés à une brève description de chacune des principales étapes.

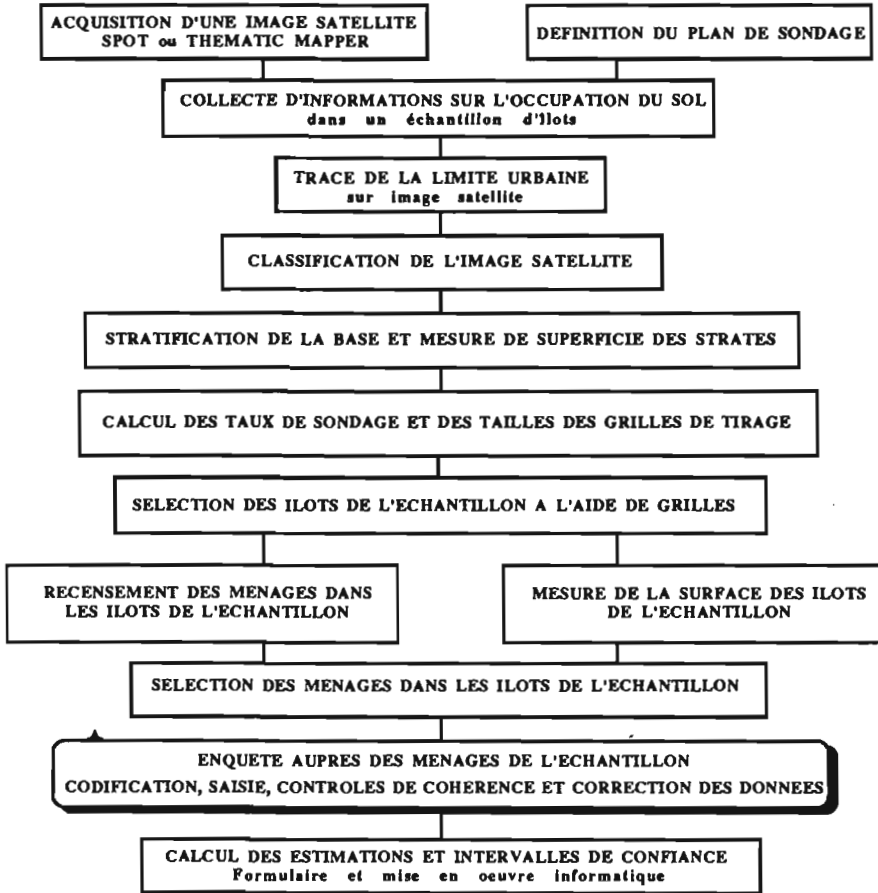
* La délimitation de la base de sondage sur image satellite

Délimiter la base de sondage consiste à tracer la limite urbaine sur l'image satellite. Etant donné le type d'information fournie par les images satellite, il est bien évident qu'on ne peut extraire de celles-ci que des limites traduisant un phénomène *physique* ; une solution intéressante est de définir la ville comme une zone continue d'espace bâti.

Si l'on retient cette définition, deux techniques différentes peuvent être mises en œuvre, selon le type d'image dont on dispose :

- si l'on ne dispose que du film de l'image panchromatique SPOT : 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

Figure 2 - Les différentes étapes de la mise en oeuvre de la méthode



renseignement 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 SPOT XS ou TM : 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 à grande échelle du canal panchromatique. L'objet de ce traitement est de classer l'image selon l'indice de végétation et le degré d'hétérogénéité des valeurs radiométriques ; 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.

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 satellite.

*** La stratification de la base d'après l'information fournie par l'image satellite**

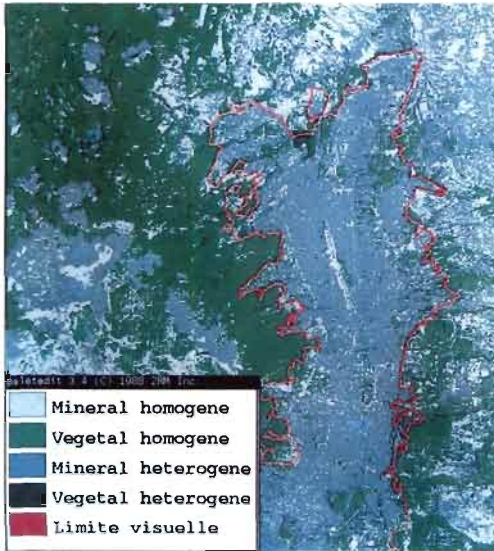
La stratification de la base de sondage est basée sur une classification *supervisée* de l'image satellite, c'est à dire initialisée sur une information précise collectée, au sol, dans un certain nombre d'îlots. La méthode de classification que nous préconisons actuellement est une classification selon la densité de l'espace bâti : aisément modélisable à partir des images satellite, la densité du bâti est, d'autre part, un critère de stratification efficace pour une enquête socio-démographique.

Cette classification est basée sur la recherche de la meilleure régression entre la densité du bâti observée sur le terrain dans les îlots test et l'indice de végétation (dans le cas d'une image SPOT) ou les moyennes radiométriques des canaux 3, 4 ou 5 d'une image TM ; les coefficients de la régression sont ensuite appliqués à l'ensemble de l'image. Après avoir seuillée l'image en 3 à 6 classes, on dispose donc d'une classification de la zone urbanisée en fonction de 3 à 6 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 de ce critère de densité du bâti. Cette opération est réalisée sur un tirage à grande échelle de l'image satellite, en s'efforçant de suivre des frontières, naturelles ou artificielles, afin de ne pas couper les pâtés de maisons, qui constitueront l'unité de base de l'échantillon au premier degré.

Enfin, la mesure de superficie des strates étant une information nécessaire pour le calcul des estimateurs, on mesure les zones ainsi délimitées.

UTILISATION DES IMAGES SPOT POUR DES ENQUETES SOCIO-DEMOGRAPHIQUES PAR SONDAGE



Délimitation de la base de sondage : tracé de la limite urbaine

Stratification de la base de sondage selon la densité de constructions



*** La sélection de l'échantillon d'îlots**

Le premier travail consiste à déterminer le nombre total de pâtés de maisons à enquêter et leur répartition dans les strates ; ce calcul nécessite de connaître la surface totale de chaque strate (mesurée sur image satellite), et la surface moyenne des pâtés de maisons de la strate (connue d'après les relevés terrain). Le tirage de l'échantillon de pâtés de maisons s'effectue ensuite indépendamment dans chaque strate à l'aide d'une grille placée sur l'image satellite, 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 mesurée sur l'image par le nombre d'îlots à sélectionner, d'où l'on déduit la taille de la maille.

Après s'être assuré d'avoir dans chaque strate le nombre de points de sondage voulu, l'étape suivante consiste à identifier sur l'image les îlots correspondant aux points de la grille. 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, avec le superviseur chargé de la zone, directement sur le terrain.

*** Le recensement des ménages et la mesure des surfaces des îlots de l'échantillon**

Le recensement des ménages qui occupent les pâtés de maisons sert à sélectionner l'échantillon de ménages à enquêter et à estimer les totaux, moyennes et quotients au sein des unités primaires, c'est-à-dire les pâtés de maisons.

Ce travail de recensement des ménages dans chaque îlot de l'échantillon est confié aux superviseurs, qui établissent, sur une fiche prévue à cet effet, un schéma simplifié du pâté de maisons sur lequel figurent : les renseignements nécessaires à l'identification du pâté de maisons par l'enquêteur (noms des rues bordant l'îlot, éléments naturels servant de limites...etc), le dessin de l'ensemble des bâtiments de l'îlot, le nombre de ménages dans chacun des bâtiments, la numérotation des ménages de 1 à N, par ordre croissant en suivant le tour de l'îlot.

Après le recensement des ménages, le superviseur effectue la mesure de la surface de l'îlot : cette mesure est indispensable pour pratiquer les estimations des totaux, moyennes et quotients au niveau de la base entière, de chacune des strates ou d'un éventuel autre découpage de la ville.

A l'aide d'un décimètre, d'un clinomètre et d'une boussole, le superviseur établit avec le maximum de précision possible 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 du schéma et des mesures effectuées par le superviseur .

*** La sélection des ménages à enquêter**

La détermination du nombre de ménages à enquêter dans chaque îlot résulte d'un compromis entre deux objectifs contradictoires :

- assurer, par un petit nombre d'enquêtes dans chaque îlot, la dispersion géographique maximale de l'échantillon au premier degré, ce qui assure une meilleure précision des estimations globales;
- conserver dans chaque îlot un nombre suffisant de ménages enquêtés pour produire des estimations fiables dans chaque unité primaire (îlot).

Le premier objectif étant généralement prioritaire, on adopte la stratégie suivante de sélection des ménages: on enquête un petit nombre constant de ménages (n_1 , de l'ordre de 5 ou 10) dans tous les îlots contenant au moins n_1 ménages, et on enquête tous les ménages dans les îlots contenant moins de n_1 ménages.

Dans les îlots comptant moins de n_1 ménages, l'enquête est exhaustive: l'enquêteur enquête tous les ménages identifiés sur le schéma d'îlot réalisé par le superviseur. Si l'îlot compte plus de n_1 ménages, le superviseur procède à un tirage systématique sur la liste des ménages de l'îlot numérotés de 1 à N ; il établit ainsi la liste des n_1 ménages à enquêter. L'enquêteur doit enquêter tous les ménages de la liste.

*** La production des résultats : estimations et intervalles de confiance**

La dernière étape consiste à estimer les résultats démographiques au niveau de la population entière à partir des informations collectées sur l'échantillon de ménages. Pour cela, on applique un formulaire d'estimation correspondant à la structure de sondage suivante :

- premier degré : sondage aléatoire stratifié avec probabilités de sélection proportionnelles aux surfaces des unités primaires (îlots);
- second degré : sondage aléatoire équiprobable: recensement dans les unités comptant moins de n_1 ménages, n_1 ménages enquêtés dans les autres îlots.

Le calcul des estimations des statistiques recherchées et l'évaluation des erreurs d'échantillonnage qui leur sont associées sont réalisées informatiquement, à l'aide de programmes chaînant des commandes d'un logiciel approprié (par exemple, sur IBM AT : SPSS, SAS, DbaseIII) pour appliquer le formulaire de calcul des estimateurs et de leur variance.

4. EVALUATION DE LA METHODE EN TERMES DE COÛTS ET DE PRECISION

La méthode que nous avons développée vient d'être décrite pas à pas dans le chapitre précédent ; pour conclure sur son intérêt, il importe maintenant d'apporter des éléments d'information sur ses coûts d'application et les niveaux de précision obtenus.

4.1. L'estimation des coûts d'application de la méthode à partir de l'exemple de Quito

A partir de la comptabilité des frais engagés durant toute la phase d'application à Quito, il nous a été possible de calculer les fonctions de coût et de précision caractérisant la méthode. Les évaluations auxquelles ces fonctions conduisent sont présentées dans les tableaux 3 à 5. Les calculs effectués correspondent au cas de figure suivant :

- il n'existe ni matériel informatique, ni logiciel, ni image satellite ou cartographie : l'équipement nécessaire à l'application de la méthode doit être acheté ;
- l'allocation aux strates est réalisée avec un taux constant dans toutes les strates ;
- sont inclus tous les salaires à l'exception des 6 mois de salaire d'une personne qualifiée pour la sélection de l'échantillon, l'encadrement des opérations de collecte, codification et saisie de l'information.

Deux remarques doivent être faites par rapport à ces informations de coût.

L'analyse conjointe des coûts et des précisions permet de définir un intervalle de variation de la taille de l'échantillon au sein duquel le coût d'une augmentation significative de la précision reste raisonnable, une sorte de zone de "bon rapport qualité/prix". Cette zone couvre

Tableau 3 - Equipement minimum nécessaire

Equipement	Coûts 1988, à Quito
IBM AT ou compatible, disque dur 20 Mo, imprimante	15 000 FF
Logiciel de saisie et traitements statistiques des données d'enquête sur IBM AT(ex: SPSS PC)	12 300 FF
Logiciel de traitement d'image satellite sur IBM AT (exemple: TIMOR, développé par l'ORSTOM)	600 FF
Boussole, clinomètre, décimètre	2 500 FF
Planimètre manuel	1 500 FF
TOTAL EQUIPEMENT	31 900 FF

Tableau 4 - Postes de dépense (Quito, 1988, en Francs français)

Postes fixes (équipement minimum)	Postes variant selon la taille de l'échantillon et le questionnaire
Equipement informatique 15 000 Logiciels 12 900 Equipement de mesure 4 000 Achat image satellite SPOT (Bandes magnétiques XS et Pa, film Pa) 36 000 Collecte d'informations sur l'occupation du sol 6 000	Mesure de surface des îlots 9,36 / îlot Recensement des ménages, collecte démo. sur l'échantillon de ménages, codification, et saisie de l'information collectée: - questionnaire court 11,81/ménage - questionnaire long 16,65/ménage
TOTAL 73 900	

Tableau 5 - Coût et précision selon la taille de l'échantillon

Nbre d'îlots enquêtés (m)	Nombre de ménages enquêtés	Coût questio. court (FF)	Coût questio. long (FF)	Précision: intervalle de confiance à 95 % (en % de la pop. totale)
100	750	83 694	87 324	+/- 27,8
500	3 750	122 870	141 020	+/- 12,4
1000	7 500	171 840	208 140	+/- 8,8
2000	15 000	269 780	342 380	+/- 6,2

l'intervalle allant d'un échantillon de 250 îlots à un échantillon de 1200 îlots : en deçà de cette taille d'échantillon, la méthode est trop imprécise, au delà elle est trop chère.

L'investissement que représente l'achat et le traitement de l'image satellite apparaît extrêmement concurrentiel par rapport aux coûts correspondant à l'actualisation classique d'une base de sondage (mise à jour de la cartographie et de la liste de ménages), surtout si l'on considère qu'une même image peut servir à de nombreuses applications sur une même agglomération. En effet, il est probable que, dans un avenir assez proche, beaucoup de villes feront régulièrement l'acquisition de ces images pour de toutes autres raisons que des enquêtes démographiques : ainsi, le coût d'achat des documents satellitaires sera réparti entre plusieurs utilisateurs et deviendra donc d'autant plus accessible.

4.2. La précision des résultats

Trois démarches ont été mises en oeuvre pour permettre une bonne connaissance de la précision de la méthode, élément indispensable pour la mise au point et l'évaluation de celle-ci :

- calcul des variances des estimateurs selon différents plans de sondage à partir des expériences menées sur Marseille (données exhaustives) et Quito (données sur échantillon) ;
- évaluation séparée de la précision des techniques correspondant à chacune des étapes de la sélection de l'échantillon et d'inférence ;
- estimations des variances des estimateurs calculés à partir des données collectées lors de la première application de la méthode (enquête Migrations, décembre 1987, Quito), et comparaison avec les variances obtenues avec des plans de sondage classiques

Il serait trop long de rappeler ici tous les résultats relatifs à la précision de la méthode, consignés, au fur et à mesure de l'avancement des travaux, dans nos différents rapports intermédiaires. Nous insisterons sur trois d'entre eux, fondamentaux, qui soulignent l'intérêt de pratiquer un sondage par grille sur une image satellite classée selon la densité du bâti, pour réaliser une enquête démographique en milieu urbain :

1. Parmi les stratifications actuellement réalisables sur image satellite, la plus efficace est une stratification en six niveaux de densité du bâti, dont le premier niveau permet d'isoler les espaces non construits, à exclure de la base. Pour l'estimation des effectifs, le gain que permet la stratification en cinq niveaux de densité du bâti se situe autour de 30 à 40 % de la variance de l'estimateur.

Tableau 6 - Modes d'évaluation des différentes étapes

ETAPE	MODE D'EVALUATION
Détermination de la limite urbaine sur image SPOT	Comparaison avec la limite déterminée par analyse visuelle de la couverture photographique de Quito de novembre 1987 (1/ 40 000)
Classification en 6 niveaux de densité du bâti sur image SPOT	Comparaison avec la densité observée sur le terrain en novembre 1986 (199 îlots de Quito)
Classification en 6 niveaux de densité du bâti sur image TM	Comparaison avec la densité observée sur la couverture photo. de Marseille d'août 1983 (1/ 23 000), et vérifications terrain dans 80 îlots
Mesure de surface des îlots	Comparaison, sur un échantillon de 90 îlots, des mesures faites sur le terrain, sur un tirage au 1/15 000 du canal panchromatique SPOT, ou informatiquement par comptage des pixels, avec les mesures obtenues par planimétrie sur les plans au 1/ 2 000 de l'Institut Géographique Militaire

2. Le caractère systématique du sondage aréolaire (réalisé à l'aide d'une grille plaquée sur l'image satellite), en assurant une bonne répartition géographique de l'échantillon, améliore la précision des estimations : on évalue ce gain à 20 ou 30 % de la variance du sondage strictement aléatoire au même taux.

3. Si l'on considère l'effet cumulé du tirage systématique et de la stratification, l'allocation aux strates étant optimale, le gain global de précision se situe, selon l'indicateur démographique considéré, entre 60 et 80 % de la variance d'un tirage aléatoire non stratifié.

La mesure de la précision des différentes étapes de la sélection de l'échantillon sur une image SPOT ou TM (Tableau 6) a permis de sélectionner les techniques les plus performantes pour chacune des étapes, autorisant ainsi une mise en oeuvre correcte du plan de sondage.

Les coefficients de variation des estimateurs issus de l'enquête Migrations, dont le tableau 7 donne quelques exemples, confirment la performance du plan de sondage à partir d'image SPOT adopté pour cette enquête.

Tableau 7 - Précision de quelques estimations à partir de l'enquête Migrations (3157 ménages enquêtés, soit 1,3 % des ménages de Quito)

Variable démographique	Estimation (ensemble de la base)	Estimation du coefficient de variation de l'estimateur (%)
% de ménages de 7 personnes ou plus	9,84	6,80
% de plus de 60 ans	5,78	5,40
% ménages propriétaires du logement	46,01	2,49
Sex ratio	0,957	1,50
% de natifs de Quito	63,17	1,38
% éduc.second. ou + (femmes 15-49 ans)	71,34	1,18
Taille moyenne du ménage	4,54	1,10
Age moyen du chef de ménage	43,96	1,02

Pour analyser correctement ces chiffres, trois remarques s'imposent :

- l'échantillon de l'enquête Migrations a une taille relativement réduite, correspondant aux limites du budget alloué au programme;
- l'erreur d'échantillonnage est nettement surestimée, du fait de l'emploi de formules correspondant à un tirage avec remise et surtout de la méthode retenue pour évaluer la variance du sondage systématique pratiqué (les chiffres donnés ne tiennent compte d'aucune de ces deux surestimations);
- des améliorations connues, dont les répercussions en termes de coût sont quasi nulles, n'ont pas été retenues pour cette enquête, afin de respecter un plan d'expérience permettant de tester une stratification *issue uniquement de la télédétection* et d'estimer la variance au second degré du sondage : il s'agit de l'utilisation des connaissances sur la ville permettant d'améliorer la stratification et de l'augmentation du taux au premier degré (îlots) avec allègement au second degré (ménages).

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les travaux effectués depuis 1985 sur Marseille et Quito ont vérifié l'hypothèse de base du programme de recherche : la prise en compte de la morphologie urbaine telle qu'elle peut être extraite d'une image satellite SPOT ou TM permet de définir un plan de sondage rigoureux et performant. Ces travaux sont à l'origine de résultats de portée générale, en sondage aréolaire, télédétection urbaine et système d'information géographique, résultats utilisés pour établir la chaîne complète de notre méthode de production de données démographiques intégrant la télédétection spatiale.

La première application de cette méthode, à Quito en décembre 1987, a confirmé l'intérêt de la méthode et permis d'évaluer les coûts de mise en oeuvre de la méthode, et la précision des résultats : dans une ville ne disposant d'aucune base de sondage classique, nous avons pu sélectionner de façon rigoureuse, à partir d'une image satellite SPOT, un échantillon pour une enquête démographique.

La méthodologie que nous avons développée peut apporter dès maintenant des éléments de réponse aux problèmes posés par l'observation des populations des villes des pays en développement : en suivant les étapes décrites dans le chapitre 3 de cet article, cette

technique de production de données démographiques pourrait être appliquée dès maintenant dans d'autres villes.

Si la méthode développée peut d'ores et déjà être utilisée en appliquant le schéma proposé actuellement, elle est aussi, bien évidemment, perfectible.

D'une part, la multiplication des applications dans des contextes urbains différant tant sur un plan physique que socio-économique contribuera nécessairement à un perfectionnement de la méthode de sondage aréolaire sur image satellite que nous avons présentée dans cet article.

D'autre part, il est bien évident que la seule information sur la densité du bâti ne rend compte que de manière très fruste de la morphologie d'une ville et ne constitue qu'une infime partie du "potentiel" d'informations que constitue une image satellite SPOT ou TM : le développement de méthodes pour extraire de l'image des informations sur *la hauteur et l'agencement des bâtiments* et l'intégration de celles-ci dans les estimateurs permettraient d'augmenter la précision des résultats de l'enquête démographique.

Accumuler des expériences d'application de notre méthode, intégrer les innovations que connaîtra la télédétection urbaine contribueront à améliorer la solution que nous proposons aujourd'hui.

Avec la méthode développée, il est possible de mettre en oeuvre rapidement une enquête par sondage dans une ville ne disposant d'aucune base de sondage classique. *Rapidité* et *spatialisation* des résultats en fonction de découpages divers de la ville sont des caractéristiques de notre méthode qui devraient séduire les différents acteurs de la gestion urbaine. Sélectionner l'échantillon d'une enquête socio-démographique sur image satellite privilégie aussi la mise en évidence des *différences internes* à la ville et l'analyse de la *dynamique des sous-populations citadines*, approches de l'urbanisation dont l'intérêt est souvent souligné dans les recherches sur les villes des pays en développement. Et l'allègement de l'échantillon enquêté grâce au gain de précision apporté par le plan de sondage autorise, pour un même coût global, une *observation plus fouillée* que par les méthodes traditionnelles de sondage.

On peut donc espérer qu'au delà de la satisfaction des besoins d'informations de base actualisées et localisées, cette méthode participe à la production de connaissances sur les formes et les mécanismes de l'urbanisation dans les pays en développement ; là est la raison d'être de ce détour méthodologique de cinq années.

BIBLIOGRAPHIE SELECTIVE DE L'EQUIPE

1. Ouvrages

DUREAU F., 1989.

Quito. Estadísticas de población y vivienda. 1987.
Municipio de Quito - ORSTOM, 182 p.

DUREAU F., BARBARY O., MICHEL A., LORTIC B., 1989.

Sondages aréolaires sur image satellite pour des enquêtes socio-démographiques en milieu urbain. Manuel de formation. (3 versions : français, anglais, espagnol)
Paris, ORSTOM, Collection Didactiques, 40 p.

2. Articles

DUREAU F. et GUILLAUME A., 1984.

De l'usage de la télédétection pour l'observation socio-démographique en milieu urbain tropical.
in : ORSTOM, Bulletin du Département D, n° 10, pp. 8-15.

DUREAU F. et GUILLAUME A., 1984.

La démographie depuis l'espace : un nouveau système d'observation ?
in: STATECO, n° 38. Paris, INSEE, pp. 5 - 46.

DUREAU F., 1986.

A propos du traitement informatique des données localisées. Une expérience en cours : télédétection et observation des populations urbaines.
in: L'infographie à l'Orstom. Paris, ORSTOM, Collection Colloques et séminaires, pp. 263 - 286.

DUREAU F. et BARBARY O., 1987.

Pour une méthode de collecte démographique en ville intégrant la télédétection spatiale.
in: Informatique et sciences humaines. Paris, EHESS.

DUREAU F., MICHEL A., LORTIC B.,
BARBARY O., SOURIS M., 1989.

Suivi de la morphologie et de la démographie d'une ville. Intégration des données de télédétection dans un système d'information géographique.

in : Bulletin de la SFPT, n° 115, pp. 75-77.

MICHEL A., DUREAU F., LORTIC B., SOURIS M., 1987.

Mise au point des méthodes d'analyse des images satellite à haute résolution et évaluation des informations fournies par ces images. 1 : Etude statistique du descripteur "densité du bâti". Présentation des classifications. 2 : mise en évidence des réseaux routiers sur une image SPOT panchromatique. Etude de faisabilité sur Quito (Equateur).

in: Télédétection et urbanisme. Paris, Service Technique de l'Urbanisme.

3. Communications publiées

DUREAU F. et GUILLAUME A., 1985.

La population dans l'espace. Télédétection et observation démographique des villes des pays en développement. Communication au XXe congrès général de l'Union Internationale pour l'Etude Scientifique de la Population, Florence (Italie), 5-12 juin 1985.

in : Actes du Colloque, UIESP, Florence (Italie), 19 p.

DUREAU F., LORTIC B., MICHEL A., SOURIS M., 1987.

Télédétection et système d'information géographique.

Communication au Forum International de l'Instrumentation et de l'Information géographiques, Lyon (France), 10-13 juin 1987. Lyon, 15 p.

DUREAU F., 1988.

A propos de l'analyse des systèmes résidentiels. Présentation de l'enquête Migrations réalisée à Quito (Equateur) en décembre 1987.

Communication présentée au colloque Migrations, changements sociaux et développement, ORSTOM, Paris, 20-22 septembre 1988. Paris, ORSTOM, Collection Colloques et séminaires (à paraître), 17 p.

DUREAU F., BARBARY O., LORTIC B., MICHEL A., 1989.

Une nouvelle méthode de collecte d'information sur les populations urbaines : l'enquête démographique par sondage aréolaire sur image satellite.

Communication au XXI^e congrès général de l'Union Internationale pour l'Etude Scientifique de la Population, New Dehli (Inde), 20-27 septembre 1989, 17 p.

MICHEL A., EBERHARD J.M., LORTIC B., DUREAU F., 1987.

L'utilisation de la télédétection pour l'observation des populations urbaines. Une recherche en cours à Quito (Equateur).

in: SPOT 1. Utilisation des images, bilan, résultats. Paris, novembre 1987. Paris, CNES, pp. 505-514.

MICHEL A., EBERHARD J.M., LORTIC B., DUREAU F., 1987.

El uso de la teledetección para la observación de las poblaciones urbanas. Investigación en curso en Quito (Ecuador).

Communication au II Simposio Latinoamericano sobre sensores remotos, Colombia, Bogota, 16-20 novembre 1987. Quito, ORSTOM, 34 p.

MICHEL A., LORTIC B., DUREAU F., 1988.

Stratification de l'espace urbain quiténien dans une problématique démographique. Application à Quito (Equateur).

Communication présentée aux Journées de Télédétection de l'ORSTOM, Bondy, 17-19 novembre 1988. Paris, ORSTOM, Collection Colloques et séminaires.

4. Principaux rapports multigraphiés

BARBARY O., 1988.

Sondages aréolaires pour l'estimation de données démographiques en milieu urbain. Essai de définition d'une méthode de collecte intégrant l'information satellitaire, application aux villes des pays en développement.

Paris, EHESS, Thèse de doctorat , 641 p.

- BARBARY O., DUREAU F. MICHEL A., 1988.
Définition et mise en oeuvre d'un plan de sondage aréolaire sur image SPOT pour une enquête démographique à Quito (Equateur).
 Quito, ORSTOM, 204 p.
- DUREAU F., BARBARY O., LORTIC B., MICHEL A., 1989.
L'utilisation de la télédétection pour l'observation démographique en milieu urbain.
 Convention Ministère de la Coopération-ORSTOM.
 Rapport final. Paris, ORSTOM, 31 p.
- Equipe ORSTOM (UR 406, ATOB, Unité d'infographie), 1986 et 1987.
Intégration des données de télédétection dans un système d'information géographique : suivi de la morphologie et de la démographie d'une ville. ATP CNRS/CNES. Rapport intermédiaire. Avril 1986. Rapport final, Août 1987.
 Paris, ORSTOM, 190 p. et 591 p.
- Equipe ORSTOM (UR 15 du département SDU), 1988.
L'utilisation de l'imagerie SPOT pour l'observation démographique en milieu urbain. Rapport final CNES, avril 1988.
 Paris, ORSTOM, 217 p.
- EBERHARD J.M., 1987.
Télédétection urbaine : éléments de caractérisation géographique des quartiers de Quito à l'aide d'une image SPOT.
 Paris, EHESS, mémoire de DEA, 98 p.
- MICHEL A., 1988.
Stratification de l'espace urbain à partir d'images satellite pour réaliser un sondage à objectif démographique. Mise au point et évaluation des méthodes d'analyse des images SPOT et LANDSAT TM en milieu urbain.
 Paris, EHESS, Thèse de doctorat, 369 p.

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 réflexion 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.

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.

UTILISATION DE LA TELEDETECTION DANS LE PROGRAMME URBANISATION ET SANTE A PIKINE (DAKAR)

J.-P. CHEREL*, R. CHAUME**

* Géographe, en thèse à l'Université Paul Valéry de Montpellier

** Directeur de recherches, ORSTOM Montpellier, Responsable de l'Unité de Traitement d'images

Cette étude a été menée en étroite collaboration avec l'Unité Traitement d'Images et l'Unité d'Informatique du centre ORSTOM de Montpellier. Le matériel utilisé est une station SUN 3/160, le logiciel de traitement et d'analyse d'images PLANETES a été développé au Laboratoire Informatique Appliquée du centre ORSTOM de Bondy (RAKOTO et al. ,1986).

1. Introduction

Le Sénégal n'a pas échappé au mouvement d'urbanisation galopante que connaît le Tiers Monde. Ce pays compte 33% de population urbanisée, l'essentiel trouvant refuge à Dakar. Depuis 1960, cette croissance incontrôlée et très souvent illégale, a obligé les pouvoirs publics à mener une politique urbaine volontaire, consistant en l'expulsion de bidonvilles et en transfert dans de vastes lotissements-dortoirs d'urgence à quinze kilomètres du centre-ville de Dakar. Ainsi est née Pikine, ville satellite, qui n'était alors qu'un petit village niché dans les dunes du Cap Vert (MICHEL , 1989).

2. Zone et objectif de l'étude

Pikine est située dans la zone des Niayes de la presqu'île du Cap Vert. Les Niayes présentent un vallonement de dunes de sable avec des bas-fonds de cultures maraîchères et de palmeraies. La plus étendue de

PIKINE :
Situation de la zone d'étude par rapport à la ville de DAKAR



0 1,7 3,4 5,1 6,8 km

ces zones humides jouxte l'ouest de la banlieue sur plusieurs kilomètres. Si ces îlots de verdure abritent une agriculture familiale prospère, ils sont aussi, par contre, à la faveur d'un contexte climatique idéal, des gîtes anophéliens très actifs entretenant une endémie paludéenne (MICHEL, 1989).

L'objectif est de définir les relations entre conditions d'habitat, modes de vie, accès aux soins et exposition à la vie et à la mort, et de mettre en évidence l'hétérogénéité des faits de santé en ville. Cela devrait permettre d'assurer, pour le plus grand nombre de personnes, une couverture de base optimale de prestations sanitaires, éducatives et sociales.

Mais cela impose une connaissance précise de l'extension urbaine de Pikine, des zones humides, des types d'occupations urbaines, toutes choses que la croissance anarchique de la ville rend difficile à appréhender par les techniques traditionnelles (couverture photographique aérienne, sondages).

L'équipe scientifique de l'ORSTOM a donc voulu évaluer l'apport de l'imagerie satellitaire SPOT pour étudier l'organisation et la dynamique spatiale de Pikine. Peut-on grâce à elle visualiser la tache urbaine et discriminer le tissu et les structures urbaines? Peut-on cerner les zones pouvant être touchées par les endémies paludéennes?

3. Images et prétraitements

L'étude a été réalisée sur deux scènes SPOT : une scène panchromatique (10 m de résolution au sol) du 18 avril 1986 en visée verticale, une scène en mode multispectral (20 m de résolution au sol) avec un angle de visée de 21,7° Est du 12 mars 1986. Le niveau de rectification de ces deux scènes est le niveau 1B.

La scène multispectrale a été ré-échantillonnée à 10 mètres puis recalée (à partir de 20 points d'appui) sur la scène panchromatique de façon à permettre la superposition des deux scènes. La méthode du plus proche voisin qui ne crée pas de valeurs nouvelles a été choisie car elle permet par la suite d'effectuer des classifications. La superposition n'est pas tout à fait correcte, une erreur d'1 à 2 pixels dans la partie sud n'a pas pu être éliminée.

4. Traitements des données

Deux approches ont été envisagées, la première en améliorant des compositions colorées élaborées à partir des deux scènes, de façon à mieux identifier les thèmes en vue de classifications dirigées; la deuxième en créant de nouveaux canaux à partir d'une analyse en composante principale et d'indices (indice de végétation et analyse de texture).

Compositions colorées et classifications dirigées

La composition colorée classique RVB (le proche infrarouge codé en rouge, la longueur d'onde correspondant au rouge visible codée en vert, la longueur d'onde correspondant au vert du visible codée en bleu) sur la scène multispectrale, discrimine assez bien les grands thèmes, végétation, eau, sol nu et quartiers, mais ne permet pas de préciser les thèmes plus spécifiques de l'habitat : voirie, petites zones humides intra-urbaines. Une composition colorée faisant intervenir le canal panchromatique, XS1 et XS3 a donné une image contrastée d'une très grande qualité visuelle.

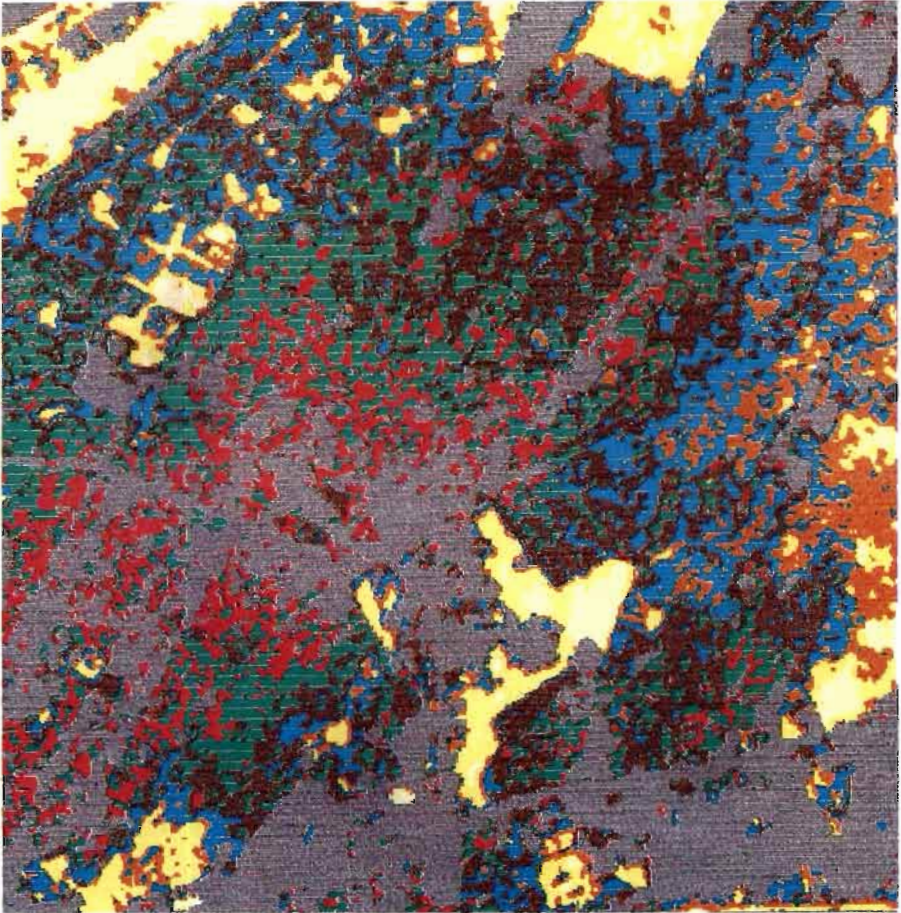
Cette composition colorée a permis de réaliser des classifications dirigées dissociant l'étude de milieu naturel et celle du milieu urbain. Dans les deux cas le choix s'est fait selon un critère visuel, sur des ensembles de pixels homogènes choisis comme parcelles de référence après examen de la composition colorée. Neuf classes ont été choisies pour chaque classification. La méthode de Sébestyen elliptique, basée sur la similarité entre les pixels et les classes choisies et la distance euclidienne pondérée par l'écart-type a été utilisée. La correction des "zones test" a permis une amélioration des classifications. Dans un second temps nous avons effectué un lissage de l'image classée pour faciliter la visualisation et l'interprétation. Si cette opération produit une distorsion de la réalité, elle facilite grandement la réalisation d'une première cartographie approchée.

Combinaisons de néo-canaux

La recherche s'est orientée de façon à obtenir des images synthétiques en créant de nouvelles images (fausses couleurs RVB) à partir de néo-canaux. Une analyse en composantes principales a été d'abord réalisée utilisant les canaux bruts multispectraux et panchromatique, et un néo-canal spatial obtenu par filtrage du canal panchromatique. Ce filtrage

PIKINE :

Classification par la méthode SEBESTEYN à partir des images SPOT
(multispectrale du 12 mars 86, panchromatique du 18 avril 86)



0 1 2 KM



EAU, VÉGÉTATION, QUARTIERS BOISÉS.

SABLE, SOLS CLAIRS, STEPPES.

DIFFÉRENTS TYPES D'HABITATION.

a consisté à remplacer chaque pixel central d'une fenêtre 5x5 par l'écart-type des valeurs de la fenêtre. Cette méthode qui ressort de l'analyse de texture-structure permet la mise en évidence de contours, de frontières entre des zones homogènes contrastées. Elle amène donc une information texturale sur l'arrangement et la répartition spatiale des radiométries de l'image. Les cinq facteurs de l'analyse en composantes principales ont fourni cinq néo-canaux décorrélés, classés suivant le contenu d'information qu'ils représentent. Nous avons choisi d'utiliser les néo-canaux 1, 3 et 5 car ils combinent des informations spatiales, spectrales et texturales complémentaires, ce qui permet de recouvrir l'essentiel de nos thèmes d'études en minimisant la perte d'information.

Dans un second temps nous avons évalué l'intérêt d'une image composée à partir du premier néo-canal (le plus synthétique), du canal panchromatique et d'un troisième canal basé sur l'indice de végétation (il s'appuie sur le contraste spectral qui discrimine la végétation et le sol).

5. Prospectives

Les premiers résultats confirment l'intérêt que représente le satellite SPOT dans des études urbaines. La structure et le tissu urbain de Pikine apparaissent très nettement. Cela permettra d'aborder plus facilement les questions d'habitat et de densité. D'un autre côté la mise en évidence des zones humides est un facteur très important pour circonscrire le problème posé par le paludisme.

6. Bibliographie

MICHEL E., 1989.

Hypertension artérielle au Sénégal : étude épidémiologique à Pikine.

Thèse de doctorat en médecine, Université Louis Pasteur, Strasbourg.

RAKOTO (M.), ANDRIANASOLO (H.) et MERING (C.) 1987
Guide de l'utilisateur de PLANETES
Laboratoire d'Informatique Appliquée, ORSTOM,
Bondy.

L'IMAGERIE RADAR

LORTIC B.* et LORTIC M.C.**

* Ingénieur télédétection, ORSTOM, Département SUD, U.R. UF

** Chef de travaux, EHESS, CAMS

Arme décisive des militaires pendant la guerre 39-45, le radar (RADio Detection And Ranging) est depuis 1978 un outil extraordinaire pour le géographe. Pendant la décennie 90 toute une série de radars va être lancée sur satellite (radarsat, ERS1).

En effet, les techniques de télédétection spatiale classiques qui commencent à être largement employées aujourd'hui présentent certaines limites :

- limite *temporelle* : la continuité temporelle théorique est en fait rarement réalisée car les capteurs multispectraux classiques (tels Landsat, SPOT, Thematic Mapper...) qui enregistrent des radiations réfléchies dans le visible, l'infra-rouge proche et moyen sont aussi tributaires des conditions atmosphériques que la photographie aérienne. Un nuage passe, pas de données !

- limite *spectrale* : les capteurs classiques, de par leur sensibilité spectrale (visible, infra-rouge), fournissent des informations avant tout sur l'état physiologique des objets;

- limite *spatiale* : la résolution spatiale est souvent grossière : NOAA : 1 km, Météosat : 5 km, MSS de Landsat : 80 m , TM : 30 m., SPOT : 10 mètres.

Les images radar, utilisées jusqu'ici par quelques spécialistes (océanographes, glaciologues, géologues) restent peu employées dans les autres disciplines. Quelques études ont été réalisées dans des domaines agricoles (CESR) ou hydro-pédologique (CEMAGREF et CNET) ou dans des optiques paysagique ou archéologique. Par contre, les applications en milieu urbain restent très rares sinon inexistantes.

Le premier contact avec une image radar est toujours très déroutant pour un utilisateur des données de télédétection. Pourquoi cette constellation

de petits points ? Pourquoi la végétation apparaît-elle si claire ? Toutes ces lignes blanches, sont-elles des défauts de restitution ? Autant de questions spontanées qui trouvent réponse très simplement.

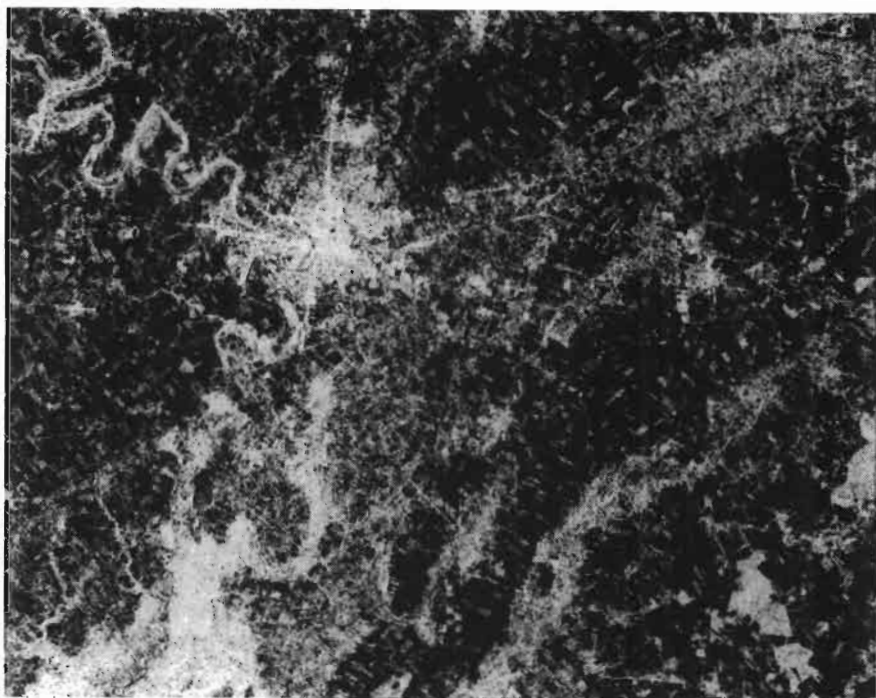


Image Seasat de Niort au 1/100000 ème

Mais, pour bien utiliser ces images, il est nécessaire de se plonger un peu dans la technique, d'essayer de comprendre au mieux l'ensemble des principaux paramètres physiques du système radar. Les caractéristiques techniques permettent d'expliquer en grande partie les signaux rétrodiffusés par un certain nombre d'objets connus et même d'émettre des hypothèses solides d'interprétation en ce qui concerne les objets inconnus.

I. CARACTERISTIQUES DU RAYONNEMENT RADAR

Le rayonnement radar est émis artificiellement en courtes pulsations en direction de la surface terrestre. Il présente cinq caractéristiques

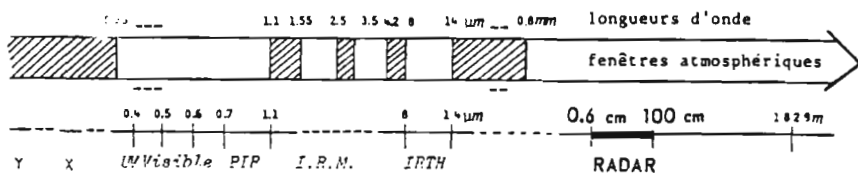
fondamentales qui le différencient du rayonnement utilisé dans les systèmes passifs classiques :

a) C'est un rayonnement dit *cohérent* comme celui d'un laser. C'est-à-dire que tous les rayons sont en phase. C'est donc un rayonnement capable de se propager à de très grandes distances sans modifications importantes.

A cause de sa nature cohérente, le faisceau radar provoque par réflexion, principalement sur la surface terrestre, des phénomènes d'interférences. Ceux-ci se traduisent quelquefois sur l'image par des franges et toujours par un effet de scintillement appelé "speckle", perceptible sous forme d'un moucheté parasite gênant la lisibilité de l'image.

b) C'est un rayonnement de *très grande longueur d'onde*, par rapport au domaine visible ou même au domaine de l'infra-rouge lointain.

Les ondes visibles sont situées entre 0.5 et 0.7 micron. Les ondes radar sont situées entre 0.6 cm et 1 mètre.



γ = rayons gamma

χ = rayons X

U.V. = ultra-violet

1 μm = 1 micromètre = 10^{-6}m = 1 millionième de mètre

P.I.R. = proche infra-rouge

I.R.M. = infra-rouge moyen

I.R.T.H. = infra-rouge thermique

Les ondes radar sont donc un million à cent millions de fois plus longues que les ondes visibles. La grande longueur de ces ondes amène deux propriétés intéressantes :

- les radars donnant des images de la surface terrestre utilisent des fenêtres de transparence atmosphérique. Leurs ondes passent très facilement à travers les nuages. Il faut distinguer les radars météorologiques dont les longueurs d'ondes sont choisies pour être absorbés par la pluie, les nuages et même l'atmosphère.

- à l'échelle des ondes radar, la surface terrestre est presque lisse. En effet, la rugosité d'une surface se mesure en fonction de la longueur d'onde que l'on utilise. Classiquement pour l'oeil, l'étalon est le micron. Lorsque

l'on utilise le radar, l'étalon devient le mètre ; la surface terrestre tend à devenir, pour le radar, un assemblage de miroirs. Notons que depuis cinquante ans les noms des ondes radar sont codés par des lettres correspondant à des domaines de longueurs d'onde précis : x, c, l, p.

Bandes	Longueur d'onde (cm)	Fréquence (θhz)
P	100 à 30	0,3 à 1,0
L	30 à 15	1,0 à 2,0
S	15 à 7,5	2,0 à 4,0
C	7,5 à 3,75	4,0 à 8,0
X	3,75 à 2,4	8,0 à 12,5
Ku	2,4 à 1,66	12,5 à 18,0
K	1,66 à 1,13	18,0 à 26,5
Ka	1,13 à 0,75	26,5 à 40,0
V	0,6	50,00

c) C'est un rayonnement *dirigé* qui n'est pas du tout diffusé par l'atmosphère.

La forte directivité du faisceau incident provoque une accentuation apparente du relief par des ombres complètement noires, ne contenant aucune information.

d) C'est un rayonnement *polarisé*.

Contrairement au rayon solaire dont le vecteur électrique se propage dans de nombreuses directions simultanées, le faisceau émis par le radar est d'emblée polarisé soit verticalement, soit horizontalement. On mesure au retour, soit la composante horizontale soit la composante verticale de l'onde rétrodiffusée. On parle de configurations de polarisation : HH, VV, HV, VH. Le comportement polarisant des objets constitue un paramètre supplémentaire qui peut aider à leur identification.

e) Le rayonnement radar a un certain *pouvoir de pénétration*.

Contrairement aux radiations de très courtes longueurs d'ondes dont le trajet est modifié dès qu'elles rencontrent une surface quelconque, l'onde radar possède un certain pouvoir de pénétration. La pénétration augmente avec la longueur d'onde, elle diminue avec la teneur en eau des objets observés.

Selon certains auteurs, en milieu sec, le rayonnement radar pénètre jusqu'à une profondeur maximale de une longueur d'onde; selon

d'autres, en milieu désertique, la pénétration peut atteindre une profondeur équivalente à plusieurs dizaines de fois la longueur d'onde du faisceau incident.

En conclusion, nous insisterons sur le constat suivant : le faisceau radar émis est *totalelement contrôlé*. On peut dire que l'on connaît exactement l'onde qui arrive au sol en tout lieu et à chaque instant (la diffusion et l'absorption atmosphérique étant considérées comme négligeables). Ceci n'est jamais le cas dans les systèmes passifs car le rayonnement solaire utilisé varie constamment en direction et en nature spectrale d'un lieu à un autre, d'un instant à l'autre à cause des fluctuations atmosphériques.

Paramètres influençant l'intensité du signal radar

Ils peuvent se regrouper en deux familles :

a) des paramètres liés à la position des objets ou des surfaces par rapport au faisceau incident. Ce sont l'angle d'incidence, la pente du terrain (inclinaison et orientation), la position relative de la surface par rapport à l'angle d'incidence.

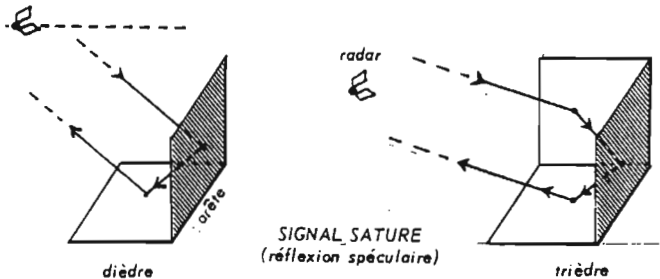
b) des paramètres liés à l'objet lui-même.

- L'état de surface.

L'indicatrice de direction de la diffusion dépend de la rugosité de surface. Un objet de très grande réflectivité peut entraîner quand même un signal nul s'il réfléchit le faisceau dans une autre direction que celle de l'antenne. Un objet lisse réfléchit principalement dans une seule direction.

- La géométrie de l'objet (réflecteur en coin).

En milieu urbain principalement, l'objet est fréquemment constitué d'un dièdre ou d'un trièdre rectangle.



- La constante diélectrique des objets.


Les objets dont la constante diélectrique est élevée réfléchissent plus intensément le faisceau radar que ceux dont la constante diélectrique est faible. Ainsi les bons conducteurs comme les métaux ont une très forte réflectance radar. La constante diélectrique croît avec la teneur en eau, par conséquent l'humidité est un facteur important de l'intensité de la réflexion. Cependant, dans des conditions réelles où tous les paramètres cités se trouvent combinés pour donner une certaine intensité du signal résultant, il est difficile de déterminer lequel est dominant.

Par exemple : des conditions très favorables comme celles de surfaces lisses métalliques peuvent être annihilées par des conditions géométriques défavorables. Inversement un trièdre d'un matériau peu réfléchissant peut-être extrêmement brillant.

En plus de la topographie et de l'état hydrique du sol, ce sont donc avant tout les propriétés géométriques des objets et des surfaces que l'intensité du signal radar traduit. En cela les systèmes radar diffèrent considérablement des radiomètres multispectraux visible et infra-rouge. En effet, ceux-ci, outre la couleur des objets et l'humidité des sols, traduisent le degré de minéralisation et l'état de la chlorophylle des végétaux.

	INTENSITE DU SIGNAL	PENETRATION
RUGOSITE DE SURFACE		
TENEUR EN EAU		
CONSTE DIELECTRIQUE		
LONGUEUR D'ONDE		
$ i - d $		

i = angle d'incidence
 d = angle d'inclinaison

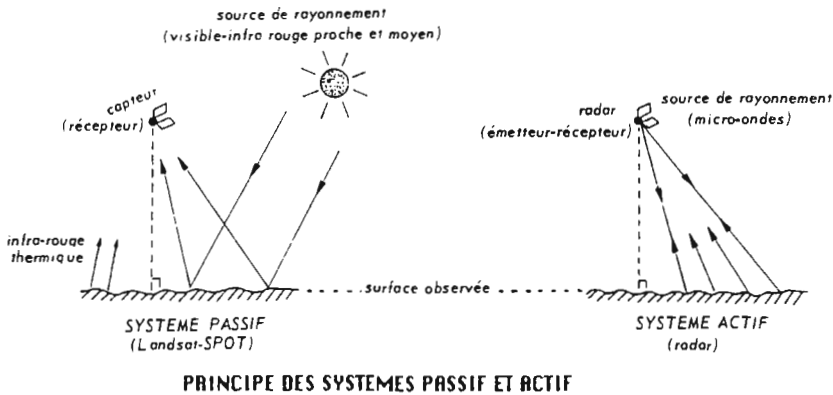

 variation dans le même sens
 variation en sens contraire
 pas de relation

**VARIATION DE L'INTENSITÉ DU SIGNAL ET DE LA PENETRATION
 EN FONCTION DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES D'ENREGISTREMENT**

II. LE SYSTEME RADAR IMAGEUR

A) Principe du système radar

Le radar est une technique de télédétection *active*, à savoir qu'un rayonnement est envoyé par un émetteur vers le sol ; une partie de ce rayonnement est renvoyée vers la plate-forme et enregistrée par un récepteur, l'autre partie étant absorbée par le sol ou réfléchie dans une autre direction.



Nature de la mesure

Le faisceau radar, dirigé, est envoyé sur la surface terrestre. Celle-ci, suivant ses propriétés géométriques et physico-chimiques, le renvoie plus ou moins vers l'espace en le diffusant dans toutes les directions.

Le signal résultant appelé, selon les auteurs, "signal radar, signal rétrodiffusé ou écho-retour" est défini quantitativement par la "section efficace" (héritage de la détection aérienne) ou "le coefficient de rétrodiffusion" de la surface considérée, exprimé en décibels.

Exemple

Soient :

S= surface observée

S'= surface apparente par rapport au radar (S' perpendiculaire au faisceau incident)

I1= la partie du rayonnement I renvoyée par S en direction du radar.

I2= la partie du rayonnement I renvoyée dans les autres directions.

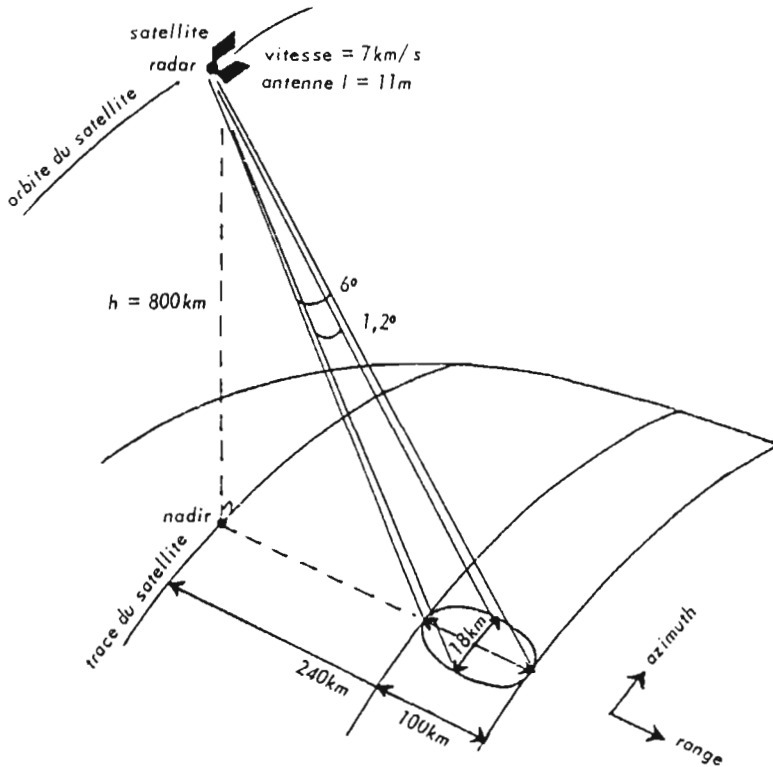
On calcule la section efficace ou coefficient de rétrodiffusion de la surface S, symbolisée par σ_0 , exprimée en décibels par la relation :

$$\sigma_0 = I1/I2 * s'$$

Ce que l'on mesure dans le cas du système radar n'est pas fondamentalement différent de ce que l'on mesure dans le cas du système passif (visible -proche infrarouge). Dans un cas comme dans l'autre, on mesure les radiations qui retournent au capteur après réflexion sur la surface terrestre. Quand il s'agit du visible, on parle de luminance spectrale que l'on exprime en Watt/M2/stéradian. Quand il s'agit de radar, on parle de rétrodiffusion, qu'on exprime en décibels.

B) Un exemple de formation d'une image radar : le cas du sar de SEASAT (radar a ouverture synthétique)

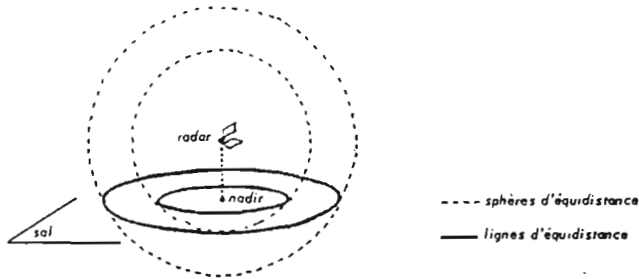
Le faisceau du radar embarqué sur le satellite est orienté perpendiculairement à la trajectoire du satellite. Il a grossièrement la forme d'un cône très aplati dont l'ouverture au sommet est d'environ un degré en gisement (dans le sens du déplacement) et de 20 à 80 degrés en site (dans le plan vertical orthogonal au déplacement).



SCHEMA DES CONDITIONS D'ENREGISTREMENT DU S.A.R.

DE SEASAT

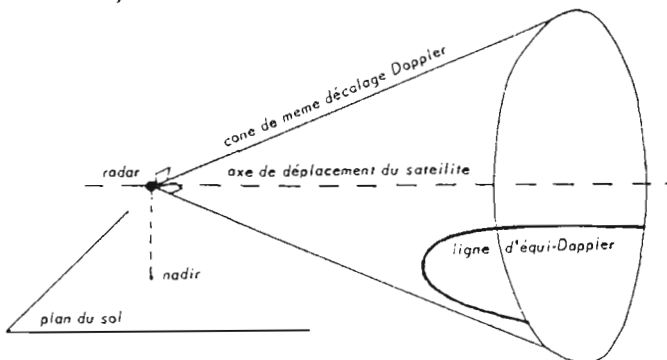
Le lieu géométrique des points de l'espace équidistants au radar est constitué par une série de sphères centrées sur le radar. L'intersection de ces sphères avec la surface terrestre (assimilable à un plan) détermine une série de cercles concentriques centrés sur le point nadir du radar. Ces cercles constituent le lieu géométrique des points du sol équidistants. Les écho-retours renvoyés par les objets situés sur chacun de ces cercles arrivent au même instant au radar. La mesure du temps de réponse des signaux permet donc de savoir sur quel cercle de distance sont situés les objets correspondants.



ACQUISITION DES DONNEES S.A.R. : EQUIDISTANCE DES OBJETS

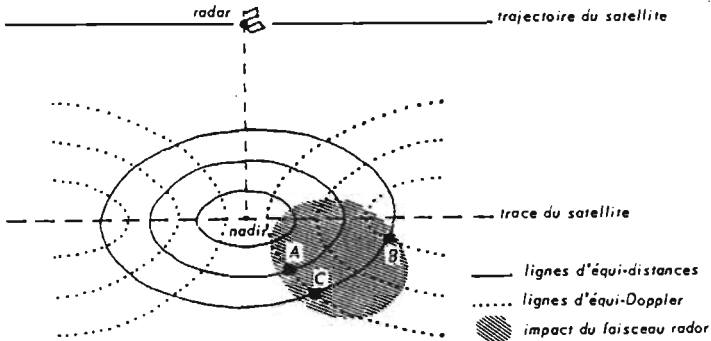
D'autre part, le lieu géométrique des objets de l'espace dont les écho-retour présentent le même décalage Doppler à l'instant t peut se représenter par un cône dont le sommet correspond à la position du radar à l'instant t , et l'axe à la trajectoire du satellite. L'intersection de ce cône avec la surface terrestre est une courbe qui représente le lieu géométrique des objets au sol dont l'écho-retour présente le même décalage Doppler par rapport à l'onde de référence.

Par conséquent, on combine les informations données par l'intensité des signaux (nature des objets), le temps de réponse et le décalage Doppler (localisation des objets)



ACQUISITION DES DONNEES S.A.R. : EQUI-DOPPLER

On comprend que le décalage Doppler utilisé dans ce cas pour localiser des objets fixes et non pas pour mesurer la vitesse d'objets mobiles, puisse entraîner des erreurs de localisation en ce qui concerne les objets mobiles.



ACQUISITION DES DONNEES : LOCALISATION DES OBJETS

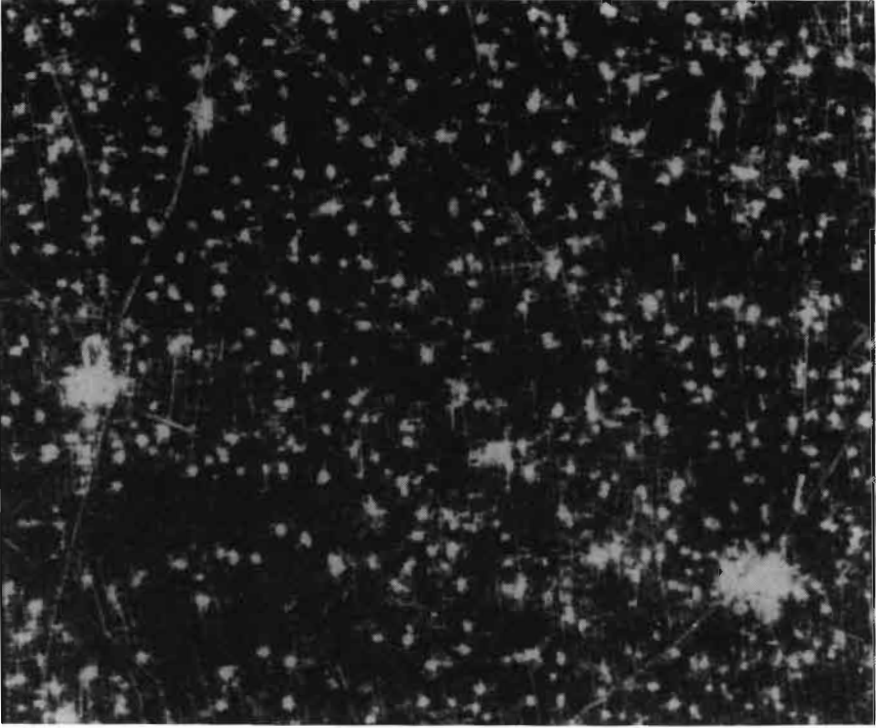
III. QUELQUES GRANDS TYPES D'APPLICATIONS EN MILIEU URBAIN

A partir de ces données techniques et des quelques images disponibles, nous pouvons envisager des applications précises.

1. Détection des agglomérations . Aide au recensement

Tous les auteurs ont signalé la possibilité de détecter les agglomérations. En effet la présence de dièdres ou trièdres réflecteurs de surface très lisse dans tout ensemble d'habitations entraîne sur l'image radar la juxtaposition de points d'intensité maximum et de points d'intensité minimum. LAUR (89) montre bien que l'écart-type local suffit à discriminer correctement les groupes de bâtiments.

Il semble donc que l'imagerie radar puisse constituer une aide précieuse à l'établissement d'une cartographie utilisable lors d'un recensement de population. En effet, le repérage des lieux d'habitation est primordial pour toute enquête exhaustive ou par sondage.



Cette image de la Chine enregistrée par le radar SIR A illustre bien cette possibilité.

2. Possibilité de détection de l'extension urbaine

Un des intérêts de l'imagerie micro-ondes est son indépendance vis-à-vis des conditions météorologiques. Il est donc possible, en toute région, de programmer des acquisitions de données de façon précise et sûre. Cette propriété permettra sans doute un suivi des chantiers et travaux divers en zone peu construite précédemment de façon plus routinière. Il semble plus difficile de détecter les petites modifications, se traduisant seulement par une modification de l'âge ou de la forme du bâti en zone déjà construite.

Il reste cependant à mesurer précisément trois types d'erreurs possibles :

- la confusion entre un immeuble (au sens de tout bâtiment quelle que soit sa taille) et divers objets mobiles (véhicules de toutes natures);

- la sous-détection éventuelle des bâtiments ou constructions due à une absence de trièdres et à une disposition non favorable des dièdres;
- la surestimation éventuelle de la surface urbanisée à cause des valeurs de rétrodiffusion très élevées causées par une juxtaposition de dièdres ou trièdres qui peut entraîner une exagération des valeurs des pixels environnants.

3. Evaluation des phénomènes accidentels

Les propriétés "tous temps" de l'imagerie radar vont permettre une observation et une mesure des événements extraordinaires qu'ils soient ou non catastrophiques (tremblements de terre, inondations, embouteillages...). Le radar embarqué sur satellite permettra facilement, espérons-le, d'obtenir des données enregistrées à des dates suffisamment rapprochées pour des études locales.

Lors d'un tremblement de terre, il paraît certain qu'une bonne localisation des démolitions importantes pourra être obtenue par différence de plusieurs dates ; mais peut-on espérer détecter directement sur une seule image le type de démolitions dues à un tremblement de terre par analyse de la texture?

En cas d'inondations, le radar apportera certainement des images très utiles.

4. Evolution du tissu urbain

Le suivi de l'évolution des quartiers peut s'effectuer par l'analyse des différences globales des valeurs de rétrodiffusion, mais aussi par l'analyse des modifications de la structure des surfaces imperméabilisées bâties ou non.

Il semble que nous ayons encore beaucoup à faire pour que le rapport signal/bruit soit suffisamment maîtrisé pour que l'écho-retour obtenu soit réellement significatif.

5. Représentation du parcellaire et voirie

Une cartographie du parcellaire par détection et suivi des linéaments, bordures de voirie et chemins semble devoir faire l'objet d'études et d'améliorations technologiques avant d'être réalisable.

Cependant l'image de Marne-La-Vallée ci-dessous montre qu'en l'absence totale d'autres données l'image radar peut être utilisée pour établir un plan succinct.



CONCLUSION

En micro-ondes, la résolution de l'image est indépendante de la distance. Sur bien des points l'optique théorique donne ainsi l'avantage au radar pour la qualité géométrique de l'image. Si l'on surmonte les deux problèmes que sont la pléthore de chiffres nécessaire à la fabrication d'une image et l'apparente difficulté de l'optique cohérente, les données radars deviennent une source d'informations précises et stables. Les

progrès que l'on a pu constater sur les capteurs visibles, du MSS de Landsat en 1972 au HRV de SPOT en 1986, ne manqueront pas de se produire pour l'imagerie radar.

INDICATIONS BIBLIOGRAPHIQUES

Françoise DUREAU

Géographe-démographe, ORSTOM, Département SUD, U.R. 5E

Afin de guider le lecteur intéressé par les applications de la télédétection en milieu urbain, nous présentons ci-après une liste des principaux textes relatifs à cette question. Le lecteur désirant une information plus complète pourra se reporter à la bibliographie réalisée dans le cadre du réseau A.D.O.C. (DUREAU F., 1990), dont ont été extraites les indications bibliographiques rassemblées ici.

Ne figurent pas dans cette liste les références des textes relatifs aux programmes de recherche exposés dans les cinq articles composant le dossier de la présente publication, chacun d'eux comportant une bibliographie spécifique.

1. OUVRAGES DE BASE EN TELEDETECTION

American Society of Photogrammetry, 1986.

Manual of remote sensing.

Sheridan press, Fall Church, 2 vol.

CNES, SPOT IMAGE, 1986.

Guide des utilisateurs de données SPOT. Vol 1 : Manuel de référence. 2 : Guide pratique.

CNES, 1987.

SPOT 1. Utilisation des images, bilan, résultats.

Paris, novembre 1987. Paris, CNES, 697 p.

IGN, 1987.

Actes du colloque FI3G. Forum international de l'instrumentation et de l'information géographiques, Lyon, 10-13 juin 1987.

Saint-Mandé, IGN, 609 p.

2. OUVRAGES GENERAUX EN TELEDETECTION URBAINE

CNES, IAURIF, Conseil Régional d'Ile de France, 1984.

Journée nationale. Aménagement urbain et télédétection spatiale.

Paris, 6 juin 1984. Paris, IAURIF.

CNES, STU, 1987.

Urbanisme et télédétection satellitaire.

Paris, CNES - STU, 75 p.

CNRS, 1982.

Journées de télédétection en milieu urbain, Paris, 6-7 mai 1982.

Paris, Centre d'Etudes et de Réalisations Cartographiques Géographiques, 141 p.

DUREAU F., 1990.

Outils de production, gestion et analyse de l'information urbaine. Bibliographie.

Réseau A.D.O.C., Amélioration Des Outils de Connaissance pour la gestion urbaine dans les pays en développement, Document de travail n° 1. Paris, ORSTOM, 79p.

ENVAR, 1986.

Télédétection et urbanisme.

in: Actes des journées nouvelles technologies et urbanisme. Lille, 5-7 mars 1986. Lille, Université des sciences et des techniques de Lille, ENVAR, pp. 203-232.

ISTED, 1988.

Colloque international. Gestion urbaine et développement, vol.2. Lyon, 20-22 septembre 1988.

Paris, ISTD, 613 p.

MICHEL A. et DUREAU F., 1989.

Teledeteccion aérea y espacial en medio urbano y observación demográfica. Avance de la investigación a traves de la literatura francesa e inglesa.

Bogota, CIAF (à paraître), 16 p.

3. EXPERIENCES DE TELEDETECTION URBAINE

3.1. Afrique

ADENIYP.O., 1986.

Applications of remote sensing techniques in Nigeria.
in: Nigeria society of remote sensing publication n° 2.
Lagos, University of Lagos, Department of geography.

ARMAND M. et CAMPAGNE P., 1988.

Aide à la mise à jour d'une base de données urbaines à partir des images du satellite SPOT.
Paris, IGN, 20 p.

BOUILLOT J., CAMPAGNE P., FLOURIOT J., LAPORTE J.M., 1984.

Recherches méthodologiques sur l'utilisation de la télédétection en aménagement urbain, simulation SPOT Niamey.
France, IGN.

DAGORNE A., MAHROUR M., 1987.

Analyse diachronique de l'urbanisation ou l'apport des images satellitaires. Application à l'agglomération algéroise.
in: Analyse spatiale quantitative et appliquée, n° 23.
Nice, Laboratoire d'analyse spatiale R. Blanchard, pp. 43-55.

IAURIF, ICEA, Plan Urbain, 1989.

Expérimentation d'une méthode simplifiée de recueil de données urbaines à Bouaké, Côte d'Ivoire. Deuxième phase : analyse comparative des informations extraites des photographies aériennes et des images satellitaires.
Paris, IAURIF, 37 p.

IGN, 1984.

Recherches méthodologiques sur l'utilisation de la télédétection spatiale en aménagement urbain.
Paris, IGN, 19 p.

SERRADJ A., 1985.

Traitements d'images satellitaires d'Alger et de Strasbourg.

Strasbourg, Université, Thèse de géographie, 195 p.

SOUDOPLATOFF S., 1985.

Apport de la simulation de SPOT aux études urbaines : Niamey (Niger).

in: Expériences de simulation du satellite SPOT en Afrique de l'Ouest. Paris, GDTA, pp. 153-168.

SOYER J., WILMET J., 1987.

Analyse spectrale des données SPOT relatives à un environnement urbain tropical (Lubumbashi, Shaba, Zaïre).

in: Photo-Interprétation, n° 4. France, Ed. Technip, pp. 45-49.

WILMET L et SOYER J., 1982.

Lubumbashi et le Sud-Est du Haut-Shaba : interprétation de données Landsat.

in: Bulletin de la Société Belge d'Etudes Géographiques, Vol. 51. Bruxelles, Société Belge d'Etudes Géographiques, pp. 87-100.

3.2. Amérique du Nord

COLWELL R.N., POULTON C.E., 1985.

SPOT simulation for urban monitoring: a comparison with Landsat 4 TM and MSS imagery and with high altitude color infra red photography.

in: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, n° 8. USA, American Society of Photogrammetry, pp. 1093-1101.

FORSTER B.C., 1984.

Combining ancillary and spectral data for urban applications.

in: Actes du 25e congrès de la Société Internationale de Photogrammétrie et de Télédétection, Rio de Janeiro, Tome A7, Vol XXV, Commission VII. Rio de Janeiro.

HAACK B.N., 1984.

Multisensor data analysis of urban environment.

in: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 50, n° 10. USA, American Society of Photogrammetry, pp. 1471-1477.

HENDERSON F.M., 1983.

A comparison of SAR brightness levels and urban land-cover classes.

in: Photogrammetric engineering and remote sensing, Vol. 49, n° 11. USA, American society of photogrammetry, pp. 1585-1591.

HOWARTH P.J. et BOASSON E. , 1983.

Landsat digital enhancement for change detection in urban environment.

in: Remote Sensing of Environment, n° 13. USA, pp. 149-160.

HOWARTH P.J., MARTIN L.R.G., HOLDER G.H., JOHNSON D.D., WANG J. , 1987.

SPOT imagery for detecting residential expansion on the rural-urban fringe of Toronto, Canada.

in: SPOT 1. Utilisation des images, bilan , résultats. Paris, novembre 1987. Paris, CNES, pp. 491-498.

MORROW JONES H.A. et WATKINS J.F., 1984.

Remote sensing technology and the US Census.

in: Photogrammetric engineering and Remote Sensing, Vol. 50, n° 2. USA, American Society of Photogrammetry, pp. 229-232.

OGROSKY C.E., 1986.

Population estimates from satellite imagerie.

in: Photogrammetric engineering and remote sensing, Vol. XLI, n° 6. pp. 707-712.

QUATTROCHI D.A., 1985.

Analysis of Landsat 4 Thematic Mapper data for classification of the Mobile, Alabama metropolitan area.

in: Proceeding of the Seventeenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Anne Harbor, Michigan, may 9-13 1985. pp. 1393-1402.

3.3. Amérique Latine

CARDIERI L. et NASCIMENTO I., 1989.

Evaluation de l'occupation et de l'utilisation du sol de la région métropolitaine de Sao Paulo par télédétection méthode d'estimation et projection des populations à partir d'une image SPOT.

Paris, IAURIF, EMLPLASA, MS2I.

MINISTERIO A., SOARES L., LESENS J.M.,
NASCIMENTO I., 1988 et 1989.

Informations pour la planification urbaine et régionale du district fédéral et Entorno.

Paris, IAURIF, CODEPLAN, Ministère des Affaires Etrangères, MS2I, 3 Vol. 42 p.

PAHN C. et POITEVIN J., 1988.

Les espaces ouverts de l'aire métropolitaine de Buenos Aires (AMBA) : inventaire par télédétection satellitaire. Présentation des travaux effectués.

Paris, IAURIF, CONAMBA, SFERES, 12 p.

3.4. Asie

BERTAUD M.A., 1989.

The use of satellite images for urban planning. A case study from Karachi, Pakistan.

New York, Banque Mondiale, 72 p.

- DURAND LASSERVE A., RUANGSIRI P., CHANLIKIT D., 1982.
Urban settlement and delineation of land use categories in Bangkok metropolitan area, land cover inventory and land use changes using Landsat data.
 Bangkok, 13 p.
- GUPTA D.M. and MUNSHI M.K., 1985.
Urban change and land use mapping of Dehli.
 in: International journal of remote sensing, Vol. 6, n° 3-4.
 USA, pp. 529-534.
- IOKA M., KODA M., 1986.
Performance of Landsat 5 TM data in land cover classification.
 in: International Journal of Remote Sensing. USA, pp. 1715-1728.
- LO C.P. et WELCH R., 1977.
Chinese urban population estimates.
 in: Annals of the Association for American Geographers, Vol. 67. USA, Association of American geographers, pp. 246-253.
- SOMBAT M. et VAN DER ZEE D., 1987.
The monitoring of Bangkok's rural urban fringe : the possibilities and limitations of remote sensing as a tool for planning.
 in: Ecologia, vol. 6, n° 1
- WARA ASWAPATI P., 1982.
Le traitement des données multispectrales acquises par télédétection. Application à l'étude de la géographie urbaine. Transformation des formes d'occupation du sol dans les zones urbaines et sururbaines du bassin de Chiang Mai, Thaïlande.
 Toulouse, Université de Toulouse Le Mirail, Thèse de 3e cycle, 261 p.

3.5. Europe (sauf France)

BUCHAN G.M. et Al., 1986.

Remote sensing in land-use planning : an application in west central Scotland using Spot-simulation data.

in: International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, n° 6. pp. 1041-1050.

DE KEERSMAECKER M.L., 1987.

Etude par télédétection des quartiers résidentiels en milieu urbain: la détermination de leurs caractéristiques socio-économiques.

in: Actes du colloque FIG. Forum international de l'instrumentation et de l'information géographiques, Lyon, 10-13 juin 1987. Paris, Ministère de l'Equipement, pp. 517-528.

NADASDI I., BAUDOT Y., DONNAY J.P., 1988.

Une carte-pilote de l'affectation des sols à Liège et des produits dérivés issus des traitements satellitaires SPOT.

Belgique, Université de Liège, 10 p.

NADASDI I., BAUDOT Y., DONNAY J.P., HOUSSIER P., 1987.

Un classement supervisé de l'utilisation du sol et son exploitation dans l'agglomération liégeoise à partir d'une scène SPOT.

in: Télédétection satellitaire et espaces urbains. Notes de recherches de la Société Géographique, n° 9. Liège, pp. 33-51.

QUARMBY N.A. et CUSHNIE J.L., 1989.

Monitoring urban land cover changes at the urban fringe from SPOT HRV imagery in south-east England.

in: International journal of remote sensing, Vol. 10, n° 6. USA, pp. 953-963.

WILMET J. et DE KEERSMAECKER M.L., 1985.

La télédétection satellitaire ; occupation du sol en milieu urbain : Etterbeek.

in: Métropolis, n° 70-71.

3.6. France

ATLAN I. et RENAUDOT C., 1987.

L'indice de végétation par satellite, indicateur de l'environnement urbain. Première exploitation d'images SPOT pour l'étude de la végétation urbaine.

Paris, IAURIF, PARIS VII, UNISPHERE, 54 p.

BA M., 1989.

Suivi de l'occupation du sol dans les schémas directeurs de Seine et Marne par télédétection satellitaire.

Paris, IAURIF, DDE 77, UNISFERE.

BALLUT A., 1979.

Les limites de la télédétection en milieu urbain.

Paris, EHESS, Thèse de 3e cycle.

BALLUT A. et NGUYEN P.T., 1985.

Simulation SPOT à Paris ; mutations du tissu urbain.

in: Métropolis, n° 70-71. Paris.

BALLUT A., BOQUET E., NGUYEN P.T., FORTIN M., 1983.

Evolution de l'occupation du sol. Recherche de méthodes comparatives et de traitements par utilisation des simulations SPOT de 1981 et 1983.

Paris, IBM, IAURIF.

BALLUT A., LECUP J., LENCO M., 1985.

Traitement en classification supervisée de l'occupation de l'espace de l'image en Ile de France du 23/3/1973 sur station précablée active, utilisation d'image satellite pour décrire l'état et le suivi de l'occupation du sol et de la végétation en Ile de France.

in: Paris, IAURIF, pp. 22-52.

BOQUET E., 1987.

Exemples d'utilisation d'images satellite comme source d'informations géographiques.

Communication au colloque FI3G. Lyon, 10-13 juin 1987.

in: Actes du colloque. Paris, IGN, pp. 539-551.

BOQUET E., 1987.

Utilisation d'images SPOT pour l'analyse du milieu urbain. Amélioration d'images classées (SPOT) par intégration d'informations texturales.

in: Actes du colloque FI3G. Forum international de l'instrumentation et de l'information géographiques, Lyon, 10-13 juin 1987. Paris, IGN, pp. 229-244.

BOQUET E. et SEYLER F., 1988.

Méthode de suivi de l'évolution de l'urbanisation en Ile-de-France de 1974 à 1987.

in: Colloque international. Gestion urbaine et développement. Lyon, 20-22 septembre 1988. Paris, ISTED, pp. 285-299.

BROUNHONESQUE M. et HADDAD Y., 1988.

Le plan vert par satellite : mesures de biovolumes et indices de végétation.

Paris, IAURIF, Paris VII, UNISPHERE, 85 p.

DEDIEU J.P., VANDEPUTTE F., BALLUT A., KIENTZ B., 1985.

Méthodologie d'étude sur l'évolution de l'occupation du sol en région Ile-de-France à partir d'images des satellites Landsat entre mars 1973 et mars 1983.

Paris, IAURIF.

DELAVIGNE R., 1983.

L'Ile-de-France vue de satellite. La télédétection au service de la qualité de la vie. in: Les cahiers de l'IAURIF, n° 67. Paris, IAURIF, pp. 6-26.

DELAVIGNE R., THIBAUT C., LENCO M., MARIETTE V., 1986.

Using of Landsat TM to study and manage the urban environment of the big cities : Paris Region.

in: Colloque de Nairobi sur la télédétection. pp. 1363-1370.

GUILLARD H. et THIBAUT C., 1986.

Mesurer la végétation urbaine par télédétection : du satellite au terrain.

Paris, IAURIF, SFERES, 91 p.

HIRSCH J., SERRADJ A., RIMBERT S., 1988.

La télédétection, un outil supplémentaire au service des études urbaines : une application sur Strasbourg.

in: Les Cahiers de l'Urbanisme n° 4. Revue de l'administration wallonne de l'aménagement du territoire. France.

MARIETTE V et POITEVIN J., 1983.

La végétation d'Ile-de-France vue par satellite : des résultats prometteurs.

Paris, IAURIF, 70 p.

MARTINEZ C., 1987.

Cultures, changements d'affectation du sol et télédétection spatiale : le cas de la région d'Ile de France.

Paris, IAURIF, SEP-DTI, SFERES, 138 p.

NASCIMENTO I. et THIBAUT C., 1987.

Observer l'espace urbain par satellites : l'exemple de l'agglomération parisienne.

Paris, IAURIF, Ministère de l'environnement, SFERES, 76 p.

PEDRON C., 1988.

Intégration des données SPOT dans une banque de données urbaines : la localisation des chantiers.

in: Photo-interprétation, n° 2. Paris, Technip, pp. 47-52.

PEDRON C., CUSSOL J., TOURNET J., LEPRIEUR C., 1987.

Intégration des données SPOT à un système d'informations géocodées.

in: SPOT 1. Utilisation des images, bilan, résultats. Paris, novembre 1987. Paris, CNES, pp. 515-530.

PEDRON C., 1989.

L'apport des images du satellite SPOT à la cartographie de la pollution atmosphérique en site urbain.

Toulouse, Service informatique de la ville de Toulouse, 5 p.

THIBAUT C., 1983.

La télédétection par satellite appliquée au milieu urbain: test de validité de l'indice de végétation dans la proche couronne.
Paris, IAURIF, 151 p.

THOMOPOULOS E., 1988.

La reconnaissance automatique des zones urbaines dans les images satellitaires de haute résolution spatiale.
in: Actes du 113e congrès national des sociétés savantes, Strasbourg 1988. Télédétection. Paris, CHTS, pp. 89-107.

WEBER C. et HIRSCH J., 1989.

Intégration de données multisources : les problèmes de désagrégation et agrégation de données dans une approche de Système d'Information Géographique. Fiabilité et utilisation optimale des informations.
Colloque SIGEO, Université de Rouen, 6-7 octobre 1989.
Rouen, Université de Rouen, 15 p.

WEBER C. et HIRSCH J., 1989.

Some urban measurements from SPOT data : urban life quality indexes.
Communication au 6ème colloque européen de géographie théorique et quantitative. Chantilly, 5-9 septembre 1989. Strasbourg, URA D 902 CNRS / GSTS, 11 p.

3.7. Moyen-Orient

CAMPAGNE P. et LE MEN H., 1986.

Caractérisation et quantification de l'évolution de l'agglomération du Caire par traitement d'images Landsat MSS et TM.
Paris, Banque Mondiale, IGN.

CHARAFFEDINE W., BOUSTANY S., THIBAUT C., 1989.

Projet Liban. Cadrage régional de Beyrouth. Mise au point d'une méthode d'analyse par télédétection.
Paris, IAURIF, CDR, DGU, MAE, Caisse Centrale de Coopération Economique, UNISFERE, 145 p.

CHRONIQUE BIBLIOGRAPHIQUE

Liste des revues reçues régulièrement à la base SUD de Bondy et consultables sur place

Bulletin de l'Atlas Informatisé de Quito (AIQ) - IGM. IMQ. IPGH. ORSTOM (3 numéros par an)

Lettre d'information du réseau ADOC (Amélioration Des Outils de Connaissance), trimestrielle - ORSTOM (Bondy)

La Lettre du CEAN, publication du Centre d'Etude d'Afrique noire de l'Institut d'Etudes Politiques de Bordeaux

La Lettre du CIDEP, périodique trimestriel du Centre International de Formation et de Recherche en Population et Développement en association avec les Nations Unies

Les Cahiers du CIDEP

Cités Unies, revue trimestrielle publiée par la Fédération Mondiale des Cités Unies et Villes Jumelées (FMVJ)

Lettres des départements scientifiques du CNRS, sciences de l'Homme et de la Société - CNRS (bimestrielle)

La Lettre de l'EIB, bulletin d'information de l'Ecole Internationale de Bordeaux - Agence de Coopération Culturelle et Technique (mensuel)

Environment and Urbanization, revue semestrielle publiée par The Human Settlements Programme of the International Institute for Environment and development (IIED) - (Grande-Bretagne/Argentine)

GDTA Contact, bulletin du Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale

La Lettre du GEMDEV - Groupement d'Interêt Scientifique Economie mondiale, Tiers Monde, Développement

Association Mondiale des **Grandes Métropoles-Métropolis**, bulletin de liaison (mensuel)

Habitat d'Afrique, supplément en français de UNCHS-Habitat News (mensuel)

HP Média, revue mensuelle du réseau Habitat et Participation - Louvain-la-Neuve (Belgique)

IIED, revue trimestrielle de l'International Institute for Environment and Development (Grande-Bretagne/Argentine)

Lettre Urbaine, bulletin de liaison trimestriel de la recherche-action en aménagement des établissements humains en Asie, Amérique latine et Afrique - ENDA-RUP (Dakar)

Mappemonde, revue trimestrielle de La Maison de la Géographie (Montpellier)

Nouvelles de SPOT - CNES/SPOT IMAGE (publication semestrielle)

Observatoire urbain du Caire contemporain, lettre d'information trimestrielle du CEDEJ, Centre de recherche et de documentation économique, juridique et sociale (Le Caire)

Observatoire urbain d'Istanbul, lettre d'information semestrielle de l'Institut Français d'Etudes Anatoliennes (Istanbul) (premier numéro)

Optique Africaine d'Urbanisme (Afrique de l'Ouest et Centrale), publication du Bureau régional de l'habitat et du développement urbain de l'USAID pour l'Afrique de l'Ouest et du centre SIS à Abidjan (premier numéro)

L'Ordinaire Mexique-Amérique Centrale, revue bimestrielle du GRAL-CNRS/IPEALT- Université de Toulouse-le-Mirail

Politique Africaine, revue trimestrielle publiée par l'Association des Chercheurs de Politique Africaine - KARTHALA

Population, revue bimestrielle de l'INED, Institut National d'Etudes Démographiques

Pratiques sociales et travail en milieu urbain - les cahiers, publication trimestrielle du Grand Programme "Pratique sociale et Travail"-Département SUD - ORSTOM (Bondy)

Publications Update, périodique de la Banque Mondiale présentant l'ensemble des publications de la Banque Mondiale

RTS, Recherche, Transports, Sécurité, revue trimestrielle de l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS)

Les Cahiers d'URBAMA, Centre d'Etudes et de Recherche sur l'Urbanisation du Monde Arabe - CNRS/Université de Tours (trimestrielle)

Villes en développement, bulletin de la coopération française pour le développement urbain, l'habitat et l'aménagement spatial (trimestriel)

Villes-Horizon 2000, analyse et prospective, bulletin de la Banque Mondiale (10 numéros par an)

Liste (non exhaustive) des ouvrages édités ou co-édités par l'ORSTOM
au cours des derniers mois

AFRIQUE

J.POINSOT, A.SINOUE, J.STERNADEL

Les villes d'Afrique Noire entre 1650 et 1960

Politiques et opérations d'urbanisme et d'habitat

ORSTOM-ACA, Ministère de la Coopération et du Développement, la
Documentation française.1989

B.OLOUDE, A.SINOUE

PORTO-NOVO, ville d'Afrique Noire

Collection Architectures traditionnelles. Parenthèses-ORSTOM-
PUB.1989

P.ANTOINE, S.COULIBALY (Textes réunis par)

L'insertion urbaine des migrants en Afrique

Actes du séminaire CRDI-ORSTOM-URD, Lomé 10-14 février 1987

Collection Colloques et Séminaires, ORSTOM, 1989

AMERIQUE LATINE

C.AUBERTIN, D.BENTES

Brasilia, Distrito Federal

ORSTOM, CNPQ, 1989

F.CARRION (sous la direction de)

La recherche urbaine dans les pays d'Amérique Andine

Un état de la question

Programme Inter Urba Tiers Monde

Pratiques Urbaines n°8

CNRS-ORSTOM, 1989

F.DUREAU

Quito - Estadísticas de población y vivienda 1987

Municipio de Quito - ORSTOM, 1989

LE CHAU, J.PAPAIL

Transformations agraires et mobilité de la main-d'oeuvre dans la région nord-andine de l'Equateur

Les dossiers du CEPED n°8, 1989

(Le CEPED est un Groupement d'Interêt Scientifique EHESS-INED-INSEE-ORSTOM-PARIS VI)

L.VALLADARES

La recherche urbaine au Brésil

Un état de la question

Programme Inter Urba Tiers Monde

Pratiques Urbaines n°7

CNRS-ORSTOM, 1989

M.SCHTEINGART (Textes rassemblés par)

Changement social et mutations urbaines en Amérique Latine

Programme Inter Urba Tiers Monde

Pratiques Urbaines n°9

CNRS-ORSTOM, 1989

GENERALITES

F.DUREAU, O.BARBARY, A.MICHEL, B. LORTIC

Sondages aréolaires sur image satellite pour des enquêtes socio-démographiques en milieu urbain

manuel de formation (existe en version espagnole et anglaise)

Collection Didactiques, ORSTOM, 1990

COLLOQUES ET SEMINAIRES

CODATU V

Cinquième conférence sur les transports urbains dans les pays en développement

24 au 28 Septembre 1990 à Sao Paulo (Brésil)

COLLOQUE DE OUAGADOUGOU

"Maîtriser le développement urbain au Burkina Faso"

1 au 5 Octobre à Ouagadougou (Burkina Faso)

ORSTOM/CNRST/Université de Ouagadougou/Secrétariat d'Etat à l'Urbanisme et à l'Habitat

COLLOQUE DE STRASBOURG **Intégration de la photogrammétrie et de la télédétection dans les systèmes d'informations géographiques (SIG): utilisation et qualité**

6 au 9 Novembre 1990 à Strasbourg (France)

CNES/SFPT

COLLOQUE DU CAIRE

Stratégies nationales et inter-régionales de développement urbain dans le Monde Arabe

15 au 18 Décembre 1990 au Caire (Egypte)

CEDEJ/ORSTOM/Université du Caire

CONFERENCE EUROPEENNE - ANNEES FRANCE-BRESIL

Le Brésil au seuil du XXIe siècle

17 au 20 Décembre 1990 à Paris - IIAP (France)

Centre de recherches sur le Brésil contemporain/EHESS/Maison des Sciences de l'Homme

ACTUALITES DE LA RECHERCHE

Nouveaux projets de recherche

- La société civile face à l'Etat dans la Tunisie contemporaine: radiographie d'un segment révélateur: les jeunes citoyens
projet de recherche proposé par Nadia KHOURI-DAGHER

- Le rôle de l'emploi dans les stratégies d'insertion urbaine des migrants: le cas des travailleurs du bâtiment en Colombie
projet proposé par Thierry LULLE à l'Institut Français des Etudes Andines (Ministère des Affaires Etrangères- Sous-Direction de Sciences Sociales et Humaines)

- De l'habitation salubre au logement de masse: l'expérimentation égyptienne en matière d'habitat économique et social
projet de recherche proposé par Mercedes VOLAIT (CEDEJ-MRC, Egypte)

La société civile face à l'Etat dans la Tunisie contemporaine: radiographie d'un segment révélateur: les jeunes citadins.

Nadia KHOURI-DAGHER

I - Objectif de l'étude

A partir d'une enquête, de type anthropologique, auprès de jeunes âgés de 15 à 30 ans, vivant en ville, et appartenant à divers milieux socio-économiques, tenter de mieux approcher la perception qu'a la société civile de la situation économique actuelle, de son avenir, et du rôle de l'Etat tunisien à son égard.

II - Le contexte: la nécessité de se mettre à l'écoute d'une société en crise

La Tunisie traverse en cette fin des années 80 une crise économique profonde, que les experts ne s'attendent à voir s'estomper que dans le long terme, le Plan d'Ajustement Structurel et les diverses réformes économiques entreprises depuis le changement de Chef d'Etat, le 7 novembre 1987, ne pouvant avoir d'effets immédiats.

En attendant, et pour le court et moyen terme, le pays connaît des difficultés certaines, qui se traduisent, pour la population, par une baisse certaine des revenus réels, due à la conjugaison d'une certaine fermeté dans la politique salariale et d'une inflation qui ne reste pas négligeable, et par un rétrécissement du marché du travail, dû à la conjugaison d'une économie stationnaire et d'une croissance démographique soutenue : alors que 85.000 personnes arrivent chaque année sur le marché du travail, la création d'emplois n'est que de quelque 20.000.

Parallèlement à cette crise économique, peuvent se lire les signes d'une crise politique. Le modèle de l'"Etat-Providence", sur lequel s'était bâtie la Tunisie de l'Indépendance, à l'instar d'autres pays arabes, s'essouffle, l'Etat, étranglé par un déficit budgétaire qui s'alourdit d'année en année, n'ayant plus les moyens matériels de garantir à tous

les biens et services de base. La quantité ou la qualité de ces biens et services qui étaient censés garantir un "bien être minimum" à l'ensemble des citoyens ne cesse de chuter : les débats sur la qualité des soins de santé, des transports, des systèmes éducatifs, sur les politiques étatiques de logement, sur le bien-fondé des subventions aux produits alimentaires, ne sont qu'autant d'épiphénomènes d'une remise en question plus profonde de l'efficacité de l'Etat moderne à remplir le rôle qu'il s'est assigné.

Enfin, le troisième visage de la crise est culturel : le pays, comme nombre de pays arabes aujourd'hui, est traversé par une véritable crise d'identité, perceptible notamment avec la résurgence rapide des discours religieux. Il est certain que les difficultés économiques ont constitué, comme ailleurs, le creuset dans lequel sont venues grandir des revendications qui, si elles se voilent - au sens propre et figuré - d'une apparence purement culturelle, n'en représentent pas moins des critiques violentes des modèles de développement économique et des modes de gestion politique des décennies précédentes.

Les analyses sur les trois caractères de cette crise, qui n'est pas spécifique à la Tunisie, fleurissent depuis quelques années, pour l'ensemble du monde arabe. Chaque corps de spécialistes tente, avec ses instruments d'analyse, de comprendre et d'expliquer : les économistes avancent leurs bataillons de chiffres, les politologues s'interrogent sur l'exogénéité du modèle de l'Etat occidental dans la culture arabe pour rendre compte de l'échec des Etats modernes, et les sociologues mettent en valeur la spécificité d'une culture où la religion règnerait en maître pour tenter d'expliquer les revendications islamistes d'aujourd'hui.

Pourtant, de par son aspect multidimensionnel, une véritable compréhension de cette crise ne peut s'effectuer qu'en menant une analyse qui s'attaque à ces trois dimensions : l'économique, le politique, et le culturel. Pour l'Egypte, Gilles Kepel a fourni un bel exemple de la pertinence - plus, de la nécessité - d'une telle approche (1).

Comment procéder ? Avant d'analyser, il faut savoir quel sera l'objet réel de l'investigation : est-ce "l'économie nationale", "le modèle politique" ou "le modèle culturel" qui nous intéressent, c'est-à-dire des entités abstraites au fond ? Ou bien n'est-ce pas plutôt les acteurs mêmes - ou les victimes, selon le point de vue adopté - de ces bouleversements ? Car, si l'on veut procéder à une analyse politologique de la situation, c'est bien la société que l'on a coutume d'appeler "civile" qu'il faudra, finalement, essayer de comprendre.

En effet, aussi importante que la situation objective - les chiffres alignés du chômage, des conditions de logement, le surpeuplement des universités - est la perception qu'ont les acteurs de cette situation. Et, parce que c'est l'Etat qui, en dernière instance, est tenu pour responsable de cette situation, la perception qu'ont les acteurs de cet Etat.

Il faudra donc se mettre à l'écoute de cette "société civile", l'écouter, comprendre où se situent ses revendications, ses frustrations - et ses espoirs, au bout du compte.

III - Le groupe des jeunes, révélateur des tensions de la société civile

Lorsque des organismes internationaux entreprennent des enquêtes sur la santé dans divers pays du monde, ils s'attachent souvent à n'enquêter qu'auprès des mères et des enfants, considérant que, en tant qu'éléments les plus vulnérables de la population, leur état de santé vaut d'indicateur pour l'état de santé de l'ensemble du groupe socio-économique auxquels ils appartiennent (2).

En effet, parce que les femmes et les enfants sont plus vulnérables que l'ensemble de la population, c'est dans ce groupe de population que l'on décèle des carences (alimentaires par exemple) ou des pathologies, qui auraient été minimisées si l'on s'était attaché à étudier le groupe dans son ensemble. Toutefois, il faut bien comprendre le rôle d'indicateur, c'est-à-dire de valeur indice, et non de valeur représentative de l'échantillon dans son ensemble, que joue ce couple mère-enfant: du fait même de leur fragilité, les pathologies observées là sont nécessairement plus aigües que pour l'ensemble de la population étudiée, et ne sauraient par conséquent être généralisées.

Notre intérêt pour les jeunes tient du même pari - ce qu'en langage scientifique on nomme hypothèse : nous ferons donc l'hypothèse que, pour une interrogation de type sociologique et politologique, l'étude du groupe des jeunes permet de prendre le pouls, pour rester dans ce domaine médical, de la société dans son ensemble. L'"état de santé" moral ou psychologique des jeunes, leurs perceptions de la situation économique, ou du rôle de l'Etat, seraient des indicateurs de l'"état de santé" de l'ensemble de la société dans laquelle ils sont insérés. Et, de la même manière que pour les enquêtes médicales citées, il faudra bien se garder de donner à ces observations une autre valeur qu'une valeur d'indice : c'est-à-dire que les réactions, les comportements, les discours enregistrés

parmi les jeunes, ne reflèteront pas l'image exacte de l'ensemble de la société, mais en seront comme les points limites - et en cela significatifs.

Plusieurs éléments nous amènent à formuler cette hypothèse:

- les statistiques sur l'emploi sont éloquentes : les groupes sociaux les plus touchés par ce problème du chômage sont les jeunes. Situation qui n'est pas spécifique à la Tunisie, mais qui est encore plus accentuée que dans les pays du Nord par exemple.

- les jeunes - ceux qui ont entre 15 et 30 ans - ont grandi avec la crise : si les années 70 ont été des années de relative prospérité dans le pays, les années 80 ont marqué le début d'un déclin économique, dû notamment au ralentissement du rythme de l'émigration, à la chute de la rente pétrolière, et aux sécheresses successives. Ces jeunes sont donc arrivés sur un marché du travail qui se rétrécit d'année en année, sous la pression démographique.

- si l'on prend les mouvements religieux comme expression d'une certaine conscientisation politique, il est clair - bien qu'aucune statistique ne vienne le prouver - que ces mouvements recrutent massivement parmi les jeunes : les femmes voilées sont dans leur écrasante majorité des jeunes femmes, et le principal foyer de ces mouvements se trouve être l'Université - lieu approprié par la jeunesse, par définition.

IV - La proposition d'enquête

Pour sonder une population, deux moyens s'offrent au chercheur : les enquêtes quantitatives, portant sur un échantillon représentatif de la population, ou bien les enquêtes qualitatives, de type anthropologique, portant sur un groupe plus restreint. Les premières permettent de bien cerner les comportements des divers groupes sociaux, leurs modes de faire, et ont permis, dans un pays comme la France par exemple où elles sont abondamment pratiquées pour toutes sortes de sujets, d'obtenir une image relativement précise des sociétés en question.

Mais ces enquêtes restent faibles pour ce qui est d'analyser les "modes de penser". En effet, les "sondages d'opinion", de par leur facture même, emprisonnent souvent l'enquêté dans une grille de quelques réponses, le guident dans ses réponses. Ce qui nous intéresse ici, c'est, tout autant que les comportements des jeunes, leur perception de la situation, leurs discours qui ne peuvent, eux, être appréhendés qu'au travers

d'interviews approfondies. La plupart des enquêtes effectuées dans les pays du Sud relèvent d'ailleurs de ce domaine de l'enquête sociologique ou anthropologique.

Nous proposons donc un mode d'enquête, auprès d'un petit groupe de jeunes (une cinquantaine) qui, s'il ne pourra prétendre à la représentativité absolue, nous permettra du moins, comme toutes les enquêtes de ce type, d'obtenir un matériau qualitatif qui est, pour notre étude, tout aussi important que le quantitatif. Comme pour l'enquête que nous avons effectuée au Caire pour notre thèse, nous partirons d'un questionnaire structuré, comprenant des questions fermées, mais que nous élargirons à une interview, nous mettant ainsi à l'écoute de nos interlocuteurs, ce qui est la seule manière d'analyser ce matériau précieux que sont les ponts qu'ils jettent eux-mêmes entre tel sujet et tel autre, les réactions des voisins et amis à telle question posée, les généralisations, bref les "Weltanschauung" qui sont les leurs.

Vivant à Tunis depuis un an, nous nous sommes constitué des réseaux informels d'amitié et de contacts dans diverses couches de la société tunisoise qui devraient nous permettre d'interroger à la fois des étudiants, des jeunes à l'usine, des travailleurs indépendants, des chômeurs, des jeunes issus de la bourgeoisie, des anciens émigrés, des hommes et des femmes. L'échantillon se fera ainsi au hasard des liens noués. Comme pour notre enquête effectuée au Caire, il s'agira alors de confronter ces discours à d'autres discours (tels qu'ils peuvent être entendus dans la presse, dans d'autres sondages, par d'autres personnes vivant en contact avec des jeunes) pour s'assurer de leur relative représentativité - qui doit être minimale.

(1) Gilles Kepel, *Le Prophète et Pharaon : les mouvements islamistes dans l'Égypte contemporaine*, Maspéro, 1986.

(2) C'est pour avoir participé à une enquête de ce type, dans un quartier sous-intégré du Caire, en 1984, que nous sommes familiarisés avec ce type d'approche, qui ne saurait venir de la lecture de manuels de sociologie ! (Les résultats de cette étude ont fait l'objet de plusieurs publications, dont Belgin Tekce, "Households, resources, and child health in Cairo, Egypt", *Regional Papers N°33, The Population Council*, le Caire, 1989, et Linda Oldham, "Child nurturance and its context at Manshiet Nasser, Cairo : based on a family profile, *Regional Papers N°21, The Population Council*, Le Caire, 1984).

Le rôle de l'emploi dans les stratégies d'insertion urbaine des migrants: le cas des travailleurs du bâtiment en Colombie

Thierry LULLE

I. Justification du projet de recherche.

En matière d'urbanisation dans les pays en voie de développement un constat s'impose : il existe un grand décalage entre le niveau des politiques urbaines définies par les pouvoirs publics et les stratégies d'urbanisation déployées par les citoyens eux-mêmes, de telle sorte que les options et les mises en oeuvre de ces politiques s'avèrent souvent inadéquates, inefficaces. Pour tenter de réduire cet écart, il est apparu nécessaire de mettre au point de nouveaux outils conceptuels et opérationnels à la disposition des planificateurs, aménageurs et urbanistes à partir des connaissances établies non plus seulement dans les champs de la géographie, de la démographie, de l'économie et de la sociologie urbaines mais aussi dans celui de l'anthropologie urbaine. Une vision plus pointue et qualitative complète ainsi une vision plus large et quantitative. De plus, cette discipline (et l'usage de sa méthode dans les autres) permet, à partir d'un contact prolongé avec des micro-unités sociales (familles, réseaux migratoires et professionnels, etc.), d'observer les réalités urbaines "du dedans et d'en bas" et de dégager les pratiques sociales et spatiales, concrètes et symboliques de la ville et d'en analyser les déterminants et logiques sous-jacents.

Parmi les processus d'urbanisation les plus importants dans les pays d'Amérique latine et qui sont encore assez peu abordés du point de vue de l'anthropologie urbaine, se trouve celui des migrations de la campagne vers les villes et de leurs liens avec l'organisation des marchés du travail et l'accès à l'emploi urbain. Une approche de ce type devient de plus en plus utile dans la mesure où les seules analyses fondées sur des résultats statistiques ne suffisent plus à comprendre l'ensemble des diverses formes que prennent depuis les dix dernières années dans ces pays ces processus migratoires. D'une part, la saturation des villes mais aussi la crise économique ont eu pour effets de ralentir ces migrations mais aussi de les modifier : elles se font davantage vers les villes

moyennes et petites et se développent sur des modes temporels plus diversifiés (alternantes, avec des cycles de plus en plus courts); certains retours à la campagne ont même pu être observés. D'autre part, évolue également le rôle de l'emploi dont certains secteurs ont traditionnellement été déterminants dans l'accès à un premier emploi en ville pour les migrants et comme plaque tournante. C'est particulièrement le cas du secteur du BTP (bâtiment et travaux publics) qui présente par ailleurs d'autres aspects jouant sur la nature de ses relations avec les processus de migration et d'urbanisation. On sait, par exemple, que ce secteur a souvent été directement lié aux politiques urbaines et de l'habitat et aux politiques publiques d'emploi.

L'ensemble de ces caractéristiques concerne la Colombie. En effet, les processus migratoires vers la capitale et de croissance urbaine longtemps massifs (des années 1940 aux années 1970) ont commencé à stagner au cours de la dernière décennie (une croissance de 200.000 personnes à Bogota entre 1980 et 1986 pour 1 million tous les dix ans auparavant), tandis que les villes secondaires ont continué de se développer. Et le CRP (Centre Régional des Populations) colombien prévoit que dans les années à venir le pourcentage des populations rurales devrait se maintenir. Des politiques de l'emploi ainsi que de l'aménagement urbain et de l'habitat (par exemple en 1972, en 1979 et en 1989) ont été conçues et mises en oeuvre pour donner une réponse aux problèmes sociaux et spatiaux qu'ont pu induire plus ou moins directement les processus migratoires. Parfois le secteur du bâtiment, qui n'a cessé de croître (il occupait 6,9 % de la population active en 1985 pour 5 % en 1973), a été utilisé dans le cadre de ces politiques de l'emploi. Or, si les processus migratoires en général et leurs relations avec l'emploi en particulier ont été largement étudiés des points de vue géographique, démographique, économique et sociologique, ils ne l'ont été que très peu jusqu'à présent de celui de l'anthropologie urbaine. Plus précisément, le rôle de l'emploi dans le bâtiment sur les stratégies d'insertion urbaine des migrants et sur leurs stabilisation, mobilité, précarisation sociales et spatiales reste méconnu. Ce sont ces différents aspects que nous nous proposons d'étudier dans le cadre de cette recherche.

II. Objectifs, hypothèses et méthodologie.

Il s'agira de mieux connaître la nature des migrations récentes et actuelles en cherchant à apprécier quel est le rôle du secteur du bâtiment dans l'accès à un premier emploi puis dans la mobilité professionnelle et

comment il assume la fonction de "pompe aspirante/refoulante" et d'"aiguillage". Si ce rôle n'est plus le même, on tentera d'en dégager les raisons et de situer ce secteur par rapport à ceux qui l'auraient supplanté dans cette fonction.

On se demandera également comment certaines caractéristiques de ce secteur influent sur les modes de gestion de la main d'oeuvre migrante : par exemple, la nature-même des entreprises (taille, sous-traitance ou non, premier ou second oeuvre, spécialisées ou polyvalentes, etc.) ou bien les principales tendances du marché (développement de la construction de bâtiments de luxe ou, à l'inverse, de logements sociaux, réhabilitation du patrimoine architectural, etc.) qui jouent sur les niveaux de qualification et les reformulations de la culture technique propre à ce secteur.

On abordera les articulations entre l'accès à ce type d'emploi puis la poursuite de l'itinéraire professionnel et les réseaux familiaux, sociaux, extra-professionnels auxquels appartiennent les migrants. On devra vérifier si la fixation ou la précarisation dans l'emploi, l'ascension, la stagnation ou le déclin dans la mobilité professionnelle et sociale, sont liées au recours à des ressources inscrites dans la vie hors-travail et à des modes de stabilisation résidentielle différenciés. Enfin la nature des relations avec le milieu d'origine (diversement poursuivies ou rompues), déterminante dans le rapport à la ville d'accueil, peut également être mieux comprise à partir de l'observation et de l'analyse des stratégies d'insertion urbaine adoptées par les migrants.

La comparaison entre les débuts d'itinéraires des générations précédentes avec ceux de la génération présente ainsi que celle entre les représentations véhiculées par les migrants potentiels dans les campagnes, les migrants actuels, les migrants "installés" dans le secteur du bâtiment ou en ayant choisi un autre, et, enfin, les migrants restés dans une situation précaire, pourra être révélatrice des réajustements opérés successivement.

Une telle approche doit pouvoir contribuer à la mise au point d'outils destinés aux aménageurs et urbanistes, outils d'autant plus nécessaires que la Colombie s'est engagée dans une nouvelle période de son aménagement urbain avec la loi de 1989 relative à la réforme municipale (Cf. les travaux menés à l'IFEA par J. Diaz Arbelaez et V. Goueset au sujet de Bogota). On peut ainsi prévoir que se fera ressentir rapidement le besoin de divers réajustements et reformulations de l'appareillage conceptuel et opératoire. Une action de collaboration

avec des acteurs de ces domaines doit être envisagée de manière à mieux finaliser les résultats de cette recherche. De même, sur un plan plus pratique, des orientations relatives à des actions de formation professionnelle destinée aux jeunes migrants travailleurs du bâtiment pourront être préconisées également en relation avec divers partenaires appartenant soit à des structures éducatives comme le SENA (Service National d'Apprentissage) soit à des organismes professionnels. La transmission des savoir-faire traditionnels adaptés aux nouvelles techniques pourrait être plus particulièrement visée, dans la mesure où cette tradition est particulièrement riche en Colombie et que le marché de la réhabilitation se développe de plus en plus (à Bogota, Cartagène et Cali notamment).

Cette étude sera menée à Cali, troisième ville colombienne, qui attire de nombreux migrants venant de la région du Valle del Cauca et de la Côte Pacifique, et où le secteur du bâtiment est actif. Elle s'organisera de la manière suivante :

- Dans une première phase seront repérées les données générales relatives aux politiques urbaines et d'habitat, aux politiques d'emploi et de gestion de la main d'œuvre, au secteur du bâtiment et à l'ensemble des acteurs qui l'encadrent, ainsi qu'aux données statistiques sur l'emploi et les migrations. Ces diverses données s'inscriront dans une perspective historique.

Dans le même temps, une pré-enquête devrait permettre de situer quelles sont les entreprises les plus intéressantes du point de vue de nos hypothèses et les plus accessibles étant donné le caractère qualitatif de nos investigations. De même pour les quartiers où résident les migrants (par exemple, El Retiro dont la population dominante vient de la Côte Pacifique, ou Aguablanca) et, en particulier, ceux qui sont employés dans le bâtiment.

Les partenaires colombiens (Cf. plus bas) seront consultés pour le choix ultime des terrains d'enquête (entreprises du bâtiment ou quartiers).

- Dans une seconde phase, il s'agira d'observer le statut du travailleur migrant sur les lieux de travail, c'est-à-dire sur les chantiers, à travers ses tâches, ses conditions de travail, ses relations socio-professionnelles, ses modes d'acquisition d'une formation professionnelle, d'un savoir technique. A partir de là, et en utilisant la relation plus personnelle qui aura pu être établie avec quelques travailleurs, on cherchera à restituer au cours d'entretiens les

trajectoires professionnelles en elles-mêmes et en relation avec le milieu hors-travail. Les conditions de départ du milieu d'origine, d'accès à l'emploi, de réussite professionnelle ou non, seront dégagées.

- Dans une troisième phase, on abordera la vie hors-travail avec ceux des enquêtés qui présenteront les itinéraires les plus caractéristiques. Seront étudiés l'histoire familiale, l'appartenance à des réseaux sociaux puis les conditions de logement (stratégies foncières et pratiques spatiales, modes d'occupation, auto-construction) et l'accès aux services urbains. Selon les relations établies avec ces enquêtés une investigation sur les lieux d'origine pourra être envisagée.

- Une dernière phase sera consacrée à la mise en forme des résultats et à leur présentation aux différents partenaires sollicités au cours de l'enquête.

Les techniques d'enquête utilisées seront de différentes natures. D'abord et principalement, celle de l'anthropologie avec des entretiens personnalisés faits dans la durée. Le nombre de sujets enquêtés ne pourra être fixé qu'une fois choisis les lieux d'enquête. Néanmoins on peut supposer a priori que, parmi les quelques dizaines de cas rencontrés sur les chantiers pour connaître leurs itinéraires professionnels, une partie seulement sera interviewée de manière plus approfondie à domicile, afin d'établir cette fois des histoires de vie. Ce sera également l'occasion d'observer leur cadre de vie. Ensuite les outils de lecture spatiale, liée à une connaissance architecturale, permettront une appréhension des lieux de travail et de résidence. Cette même connaissance facilitera l'appréhension de l'organisation des chantiers et du travail, en fonction notamment des modèles constructifs mis en oeuvre. Enfin, les outils urbanistiques interviendront dans la connaissance des stratégies spatiales des enquêtés, dans l'analyse des politiques urbaines et dans la contribution à la définition d'autres outils de ce type.

L'audiovisuel est un outil très précieux au cours d'investigations de type anthropologique ainsi que pour la mise en forme des résultats. Aussi est-il envisagé d'y recourir.

III. Présentation du chercheur et liens institutionnels.

Thierry Lulle, architecte (DESA), docteur en urbanisme (IFU - Paris VIII), a mené des travaux d'anthropologie urbaine au Togo (1984-1987)

dans le cadre d'une convention entre l'ORSTOM et l'ARDU (Association de Recherche - loi 1901 de Paris VIII). Ceux-ci portaient sur les relations entre travail et habitat en milieu urbain ouvrier.

Ce projet de recherche s'insère dans un programme intitulé "La mise en forme de la mobilité par l'emploi : les travailleurs du bâtiment et les employés domestiques en Amérique latine (Brésil, Chili et Colombie)" proposé par le CREPPA et l'ARTE (associations de recherche) dans le cadre d'un appel d'offres organisé par le département "Recherche et développement" du Ministère de la Recherche et de la Technologie en juin 1989 et accepté. Il est planifié sur 29 mois à compter d'octobre 1989. Il fait l'objet d'un financement total de 200.000 F. et le sous-programme qui concerne le bâtiment en Colombie de 18.000 F. Ce financement ne concerne donc qu'une partie de la seconde phase du projet qui vient d'être proposé (les itinéraires professionnels seuls). Dans ce même cadre, des contacts sont prévus avec Messieurs A. Corchuelo et F. Urrea, professeurs à la Faculté des Sciences sociales et économiques de l'Université del Valle à Cali.

Travaillant avec l'Unité de Recherche "Pratiques sociales et travail en milieu urbain" de l'ORSTOM, Thierry Lulle entretiendra également des contacts réguliers avec M. C. de Miras, économiste, membre de cette même unité, basé à Quito et y étudiant le secteur informel.

De l'habitation salubre au logement de masse : L'expérimentation égyptienne en matière d'habitat économique et social.

Mercédes VOLAIT

Situation du sujet proposé :

Jusqu'à présent, le domaine du logement social en Egypte n'a fait l'objet que de quelques études ponctuelles portant sur des périodes très diverses, dont les principales concernent :

- certains logements populaires de l'époque nassérienne (études axées sur les modes d'appropriation de ces espaces par leurs habitants - cas de 'Ayn al-Sira),
- l'opération du nouveau Gurna, réalisée par Hasan Fathy dans l'après-guerre (évaluation critique prenant en compte les résistances de la population vis-à-vis du relogement),
- les logements ouvriers d'Héliopolis datant du début du siècle, comme cas exemplaire d'une politique urbaine rationnelle,
- les débats sur les habitations populaires durant la période coloniale (effets d'une gestion technique spécifique des problèmes urbains qui illustre les tensions profondes de la société),
- ou encore les villages-modèles conçus dès le début du 19ème siècle, entreprise pour laquelle l'on eut recours à une expertise technique française, et qui a été récemment analysée comme constituant l'un des volets fondamentaux de la politique gouvernementale d'encadrement des populations à l'époque de Muhammad'Ali¹.

¹ Cf. T. Mitchell: Colonising Egypt, Cambridge University Press, 1988

Or, ce bref état des lieux appelle quelques remarques :

1) Tout d'abord, l'on peut noter que l'approche sociologique est dominante. Ainsi les réalités physiques des ensembles étudiés n'ont que rarement constitué l'objet central de ces études : l'espace étant essentiellement utilisé comme "support" de démonstrations, dont l'objectif principal était de montrer l'inadéquation entre les différents types de logements réalisés et les pratiques des habitants (études centrées sur les résistances et les détournements). Par contre, l'on ignore tout, en règle générale, du processus de production des opérations de logement étudiées : qu'il s'agisse de leurs dimensions spatiales (choix techniques effectués en terme de localisation, de nombre de logements, de typologie, de forme urbaine...), de leurs dimensions institutionnelles (types de maîtrise d'ouvrage, gestion des espaces...), ou de leurs dimensions économiques (montages financiers effectués, coûts fonciers et de construction, taux de rentabilité prévus...).

2) Si l'on considère que, dans le cas européen, les principales tendances de la recherche dans le domaine du logement social oscillent entre des problématiques en termes "d'expression d'une commande sociale progressiste" ou au contraire de "projet hygiéniste autoritaire", l'on constate que c'est surtout cette deuxième démarche qui a été jusqu'à présent exploitée pour rendre compte de la situation égyptienne (Cf. notamment les travaux de T.Mitchell).

3) Enfin, l'on peut également constater que l'on ne dispose d'aucune étude globale et d'aucune synthèse dans ce domaine, ce qui a pour effet de conduire à des amalgames et des raccourcis fâcheux, voire à des propositions du type : "les ensembles sociaux de l'époque nassérienne sont nécessairement dégradés" ou "il n'existe pas de politique sociale en matière de logement avant la révolution de 1952".

Recherche proposée et problématique générale :

L'on sait pourtant que la question de l'habitat à faible coût a donné lieu en Egypte à de multiples expériences, autres que celles mentionnées plus haut, et ce dès le début du siècle, mais surtout à partir des années 1920 (cités ouvrières de l'Administration des Chemins de fer, du ministère des Travaux Publics, villages-modèles des grandes exploitations agricoles, logements coopératifs des syndicats professionnels...). C'est ce que montrent en tout cas les sondages et les dépouillements que nous avons d'ores et déjà effectués tant dans les publications périodiques

spécialisées (revues professionnelles, rapports annuels des administrations...), que dans la presse d'intérêt général (quotidiens et hebdomadaires illustrés et notamment al-Ahram ou al-Musawwar), de langue arabe. Outre que ces projets sont pour l'essentiel méconnus, la fréquence des références à leur sujet, ainsi que l'existence de sources documentaires immédiatement exploitables (les périodiques); nous semblent donc justifier l'intérêt d'une recherche portant sur "l'expérimentation égyptienne en matière d'habitat économique et social".

Mais l'intérêt d'une telle recherche nous semble également justifié par la nécessité de questionner la capacité des analyses "classiques", qu'elles soient basées sur les situations européennes ou sur les situations coloniales, à rendre compte de la situation égyptienne.

1) En ce qui concerne les analyses basées sur les situations européennes, l'on peut tout d'abord objecter que le "transfert d'analyses" demeure tout à fait discutable lorsque l'on s'intéresse à des contextes culturels, distincts de ceux dans lesquels ces analyses sont produites. Mais, outre cette objection préalable, il nous semble aussi que la problématique en termes de "projet hygiéniste autoritaire" ou "d'ordre social garanti par l'ordre urbain"¹ est forcément réductrice. En effet, d'une part, elle est fondée sur un postulat implicite et non argumenté: celui du fonctionnement idéal et parfait de tels projets ("il suffit de vouloir pour pouvoir"...)-ce qui reste à démontrer-, et d'autre part, elle omet de considérer comment de tels projets se modifient, et selon quelles modalités, au contact des réalités physiques et sociales qu'ils entendent façonner.

R. Ilbert montre ainsi, pour la période qu'il étudie, que la question du logement populaire est, dès le début du siècle en Egypte, une question tout à fait complexe, pour laquelle l'Etat, pas plus que la classe dominante, ne dispose de solutions toute faites. Commentant cette étude, J.-C. Depaule souligne, quant à lui, tout l'intérêt qu'il peut y avoir à "aller à l'encontre du "radicalisme" sous-jacent à de nombreuses études urbaines (celui qu'illustre Foucault dans "Surveiller et punir"), à ne pas percevoir, dans les processus étudiés, "des mécanismes linéaires et

1. Quelques notions sur l'état actuel, et même passé, des villes égyptiennes (plutôt caractérisé par un certain "désordre" urbain) suffisent amplement pour constater que l'Etat dispose sans doute de bien d'autres moyens pour garantir l'ordre social.

transparents", et "à s'attacher donc aux médiations spécifiques (l'espace et ses formes)".

Quant au rôle de la commande sociale progressiste dans le développement des projets de logement à faible coût, il est difficile de l'évaluer en l'état actuel des connaissances. L'on sait cependant qu'il y eut, dès la fin du 19^{ème} siècle, prise de conscience de la part des propriétaires fonciers que la construction de logements économiques pouvait être une opération tout à fait rentable, ce qui amena d'ailleurs l'Etat à promulguer, en 1890, un premier règlement concernant les "habitations populaires". Par ailleurs, suite à la flambée nationaliste de 1919, certaines associations à but non lucratif (sociétés de bienfaisance, sociétés professionnelles...) devinrent les promoteurs d'opérations de logements économiques, notamment dans le domaine de l'habitat rural.

2) L'on peut également se demander dans quelle mesure la recherche que nous nous proposons d'effectuer peut bénéficier du savoir et de la réflexion accumulés à propos de réalisations similaires dans des aires géographiques comparables. Autrement dit, l'expérience égyptienne peut-elle illustrer, contredire ou nuancer les analyses développées à partir d'autres contextes coloniaux ? Analyses qui, s'agissant du cas français par exemple, ont visé à démontrer que les réalisations expérimentales en matière de logement économique destinés aux pays du Maghreb avaient surtout constitué le "banc d'essai" des conceptions architecturales françaises les plus avant-gardistes, avant leur "réexportation" et leur diffusion dans le pays concepteur.

Or, de ce point de vue, la situation égyptienne paraît tout à fait spécifique. Il ne semble pas, en effet, que l'Occupation britannique ait eu de telles préoccupations en Egypte. De fait la grande majorité des réalisations expérimentales dans le domaine de l'habitat à faible coût fut élaborée au sein d'institutions ou d'organismes égyptiens (où déjà largement égyptianisés si l'on se réfère aux premiers projets conçus postérieurement à l'égyptianisation de l'Administration, à partir donc de 1923). L'Egypte disposait d'ailleurs, dès cette époque, du personnel technique - et tout à fait compétent - nécessaire pour concevoir localement de telles réalisations, puisqu'il existait depuis 1886 une formation spécifique à l'architecture au sein de la Faculté des Ingénieurs. Rien ne justifiait donc d'avoir recours à des experts et à des architectes étrangers dans ce domaine.

Questionnement propre au contexte égyptien :

Constatant que les démarches généralement adoptées (et les analyses communément admises) par la recherche dans le domaine du logement social n'étaient pas tout à fait appropriées pour traiter du cas égyptien, nous avons donc été amenés à élaborer et à reformuler, en fonction du contexte égyptien, un questionnement plus spécifique, dont les principales interrogations sont les suivantes :

- 1) A partir de quelle date peut-on parler d'une politique nationale suivie dans le domaine du logement économique en Egypte ? Celle-ci a-t-elle bénéficié de l'évaluation critique des opérations spécifiques ? Comment s'articulent entre eux les différents projets, sachant que l'on peut retrouver, d'un projet à l'autre, mais à des périodes différentes, des morphologies similaires (par exemple, la maison unifamiliale de Imbaba) ?
- 2) Quelles sont les catégories sociales prioritairement concernés par ces opérations (ouvriers, employés, fonctionnaires, salariés, paysans...) ? Sur quel type de savoir social sont fondés les projets ?
- 3) Le rôle prépondérant en matière de maîtrise d'ouvrage doit-il être attribué à l'Etat ou aux initiatives privées (sociétés de bienfaisance, industriels, sociétés coopératives...)? Quel est le rôle des administrations locales?
- 4) Quelle est la place de la contrainte économique dans le processus de conception? Quelle est l'origine des financements mobilisés dans de telles opérations?
- 5) Peut-on identifier des types récurrents, en matière de distribution des logements (présence et emplacement de la cour, par exemple), de type de bâtiments (pavillonnaire ou collectif...), de forme urbaine ou de matériaux employés?
- 6) Quelles sont les spécificités de tels projets, en matière de formes et de procédures, en regard des réalisations contemporaines dans d'autres pays ? De quels modèles de référence ou d'influences théoriques peut-on percevoir l'impact direct (par exemple, l'enseignement reçu au Department of Civic Design de l'Université de Liverpool où fut formée une partie de l'élite architecturale égyptienne, ou, à partir de l'après-guerre, l'américanisation grandissante...)?

Sources et méthode :

Dans un premier temps (première phase d'un an), la recherche proposée sera menée sous forme d'étude exploratoire limitée à la période 1920-1960, soit à la période précédant le lancement des grands projets de logements sociaux de l'époque nassérienne. L'étude sera, dans un deuxième temps - c'est-à-dire au cours de la deuxième phase de deux ans -, et à partir des résultats obtenus, étendue à la période suivante de 1960-1989.

A partir de la série d'interrogations mentionnées ci-dessus, le travail de recherche proposé s'attachera plus particulièrement à étudier les dimensions spatiales, institutionnelles et économiques des projets de type expérimental les plus aboutis, et dont les programmes ont obéi, au cours de la première période considérée, à quatre principaux objectifs :

- la réforme de l'habitat rural,
- l'implantation de cités ouvrières,
- la mise en place de modèles de logements sociaux en milieu urbain; - la conception de types d'habitat d'urgence pour les populations sinistrées (catastrophes naturelles, guerres...) ou déplacées par les opérations de rénovation urbaine.

Les sources exploitées en priorité sont les publications périodiques, dont certaines collections complètes ont été récemment acquises par le CEDEJ. La bibliothèque nationale du Caire possède, quant à elle, un très riche fond de périodiques, facilement accessible.

A partir du dépouillement d'une sélection de ces publications, il s'agira donc de dresser un premier inventaire raisonné chronologique et typologique des diverses expérimentations ainsi documentées, en ayant recours aussi bien aux sources écrites, qu'aux documents iconographiques et au travail de terrain (permettant le bilan des projets effectivement réalisés).

Pour chaque opération évoquée dans les sources écrites, sera donc établie une fiche de repérage comportant tout d'abord des indications générales de site (situation au 1/25.000ème), de forme urbaine (plan-masse au 1/2000) ainsi que celles concernant la population ciblée et la date de l'opération.

Ces indications seront suivies par :

- les caractéristiques spatiales du projet : superficie de l'opération, nombre, type et distribution des logements, type de voirie choisie, équipements prévus, taux d'occupation des parcelles, hauteur des bâtiments... - les caractéristiques institutionnelles : type de maîtrise d'oeuvre et d'ouvrage, montage financier, gestion de l'opération... - les données économiques : part des coûts fonciers, coûts de construction, taux de rentabilité attendu, mode de "tenure" (locatif, privatif)...

La visite sur le terrain permettra de compléter ces indications par un descriptif de l'état actuel de l'opération (couverture photographique) et de sa réalisation par rapport au projet initial. Enfin, seront jointes les références bibliographiques.

Sans doute, au terme de cette première phase, nombre des questions évoquées ci-dessus demeureront en suspens. Mais, en termes de résultats attendus, il nous semble qu'une telle étude permettra non seulement d'identifier les réalisations concrètes les plus significatives, mais également les intervenants les plus actifs dans ce domaine, et en conséquence d'orienter la recherche vers des sources documentaires plus fécondes et plus appropriées que les seuls périodiques, telles que les archives des institutions ou organismes les plus impliqués dans ces projets, archives dont l'exploitation permettra de poursuivre l'étude de manière plus approfondie et d'affiner la problématique.

S'agissant de la deuxième phase consacrée à la période 1960-1989, l'étude permettra de la même manière d'identifier nos interlocuteurs les plus adéquats, tels que les responsables d'organismes concepteurs encore existants, pouvant éventuellement nous fournir leur témoignage personnel.

Bibliographie :

Fuad Abaza: "Improving the lot of the Egyptian peasant", in *Egypt today*, 1939, pp 142-143.

Tawfiq 'Abd al-Gawwad: *Misr al-'imara fil-qarn al-'ichrin* [L'architecture en Egypte au 20ème siècle], Le Caire, 1989.

"Architecture et politiques sociales: 1900-1947", n°15/16/17 des Cahiers de la recherche architecturale, 1er trimestre 1985.

- Ch.Audebeau et V.Mosseri: Les constructions rurales en Egypte, Le Caire, 1921.
- F.Bourgeois: "Les habitations économiques et les cités-jardins en Egypte", in *Revue internationale d'Egypte*, n°2, juin 1905, pp 113-129.
- CNRSC (ed.): al-iskan [Le logement], volume 7 du Mash al-igtima'i al-chamal lil-mugtama' al-misri (1952-1981), [Bilan social global de la société égyptienne], Le Caire, 1985.
- Muhammad Hammad: *Egypt builds*, Le Caire, 1963.
- R.Ilbert: *Heliopolis, genèse d'une ville*, Marseille, CNRS, 1981.
- R. Ilbert: "Egypte 1900, habitat populaire, société coloniale" in *Etat, ville et mouvements sociaux au Maghreb et au Moyen-Orient*, K.Brown & al. (ed.), Paris, L'Harmattan, 1989, pp 266-282, article suivi des commentaires de J.C.Depaule.
- J.Lozach & G.Hug: *L'habitat rural en Egypte*, Le Caire, 1930.
- 'Aziz al-Maraghi : *La législation du travail en Egypte*, Thèse pour le doctorat de droit, Paris, 1937.
- Ministère des Affaires municipales et rurales : al-ta'mir w al-marafiq (1952-1957) [La reconstruction et les infrastructures], Le Caire, 1958.
- Elie Nassif : *L'Egypte est-elle surpeuplée ?* Thèse pour le doctorat de droit, Paris, 1943.
- Mahmud Ryad : "Alexandria : its town planning development" in *Town review*, vol XV, décembre 1933, pp 233-248.
- M.Volait : *L'architecture moderne en Egypte et la revue al-'imara* (1939-1959), Le Caire, CEDEJ, 1988.

Courrier à adresser à:
Villes et citadins du Tiers Monde
Département SUD/LSS
ORSTOM
72 route d'Aulnay 93140 Bondy France

SOMMAIRE

DOSSIER SUR LA
TELEDETECTION URBAINE
A L'ORSTOM

CHRONIQUE BIBLIOGRAPHIQUE

COLLOQUES ET SEMINAIRES

ACTUALITES DE LA RECHERCHE

ISSN 0997-1335

