

6

**Images satellite et démographie.
Description d'une nouvelle méthode de production
d'information sur les populations urbaines.**

*Françoise DUREAU, géographe-démographe,
ORSTOM, département SUD, U.R. 5E*

Communication présentée au 115ème Congrès National des sociétés savantes

Avignon, 9-13 Avril 1990

COLLOQUE L'IMAGE ET LA SCIENCE

Séance : Télédétection et géographie

Bondy
Juin 1990

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : B 30433

Cote :

ex 1 P18

8.3.91

IMAGES SATELLITE ET DEMOGRAPHIE.
DESCRIPTION D'UNE NOUVELLE METHODE DE PRODUCTION
D'INFORMATION SUR LES POPULATIONS URBAINES.

par Françoise DUREAU

Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération,
ORSTOM, Département SUD, U.R. 5E,
72, route d'Aulnay, 93140 Bondy, France

Résumé

Les caractéristiques de l'urbanisation dans les pays en développement et la rareté des éléments de connaissance classiques rendent les populations des villes de ces pays particulièrement difficiles à observer. Les méthodes classiques de collecte de données démographiques se révèlent délicates à mettre en oeuvre.

Face à cette situation, une équipe pluridisciplinaire de l'ORSTOM a développé une nouvelle méthode de production rapide d'information démographique adaptée aux caractéristiques de l'urbanisation et aux moyens disponibles dans les pays en développement.

Dans cette méthode, déjà appliquée avec succès à Quito (Equateur), la sélection de l'échantillon repose sur l'information fournie par les satellites. L'image satellite sert de base de sondage et de source d'information sur la morphologie urbaine pour optimiser un plan de sondage aréolaire applicable à une enquête démographique.

La communication présente les caractéristiques générales de la méthode et les techniques à adopter pour réaliser chacune des étapes nécessaires à sa mise en oeuvre.

Abstract

The characteristics of urbanization in developing countries and the scarcity of classical elements of knowledge make it specially difficult to observe the urban populations in these countries. The classical methods for collecting demographic data show difficult to use.

In front of this situation, a pluridisciplinary ORSTOM team developed a new method for the fast production of demographic data fit to the characteristics of urbanization and the economies of the developing countries.

In this method, already applied with success in Quito (Ecuador), the selection of the sample relies on the information supplied by the earth observation satellites. The satellite image is used as sampling frame and as source of information on the urban morphology in order to optimize an area sampling plan applicable to a socio-demographic survey.

The paper describes the general characteristics of the method and the technic to use in each of the steps necessary for its application.

INTRODUCTION

Dans les pays en développement, déficience de l'information cartographique de base et modalités de l'urbanisation se conjuguent pour rendre les populations citadines particulièrement difficiles à observer. Dans un tel contexte, les instruments traditionnels de l'observation socio-démographique, recensements exhaustifs et enquêtes par sondage probabiliste, se révèlent peu efficaces et ne satisfont pas correctement les besoins de la recherche ni de la gestion urbaine, en matière d'observation suivie et spatialisée des populations citadines.

Le coût de la collecte et les durées d'exploitation des recensements limitent leur périodicité à un rythme d'environ dix ans, insuffisant pour des 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.

Face à ce constat, le Département Urbanisation et socio-systèmes urbains de l'ORSTOM a initié en 1985 un programme de recherche dont l'objectif central était de développer une méthode de collecte de données démographiques en milieu urbain qui soit adaptée aux caractéristiques de l'urbanisation dans les pays en développement et aux contextes locaux d'information, d'équipement, de moyens humains et financiers. L'idée centrale de la méthode est d'utiliser *l'image satellite comme base de sondage* et d'exploiter l'information sur la morphologie urbaine fournie par l'image pour *stratifier un plan de sondage aréolaire* permettant de sélectionner un échantillon pour une enquête à objectifs démographiques ou socio-économiques.

Les recherches ont été menées par une équipe pluridisciplinaire, réunissant des compétences en démographie, statistique, télédétection et urbanisme, composée de O. BARBARY, B. LORTIC, A. MICHEL et moi-même, responsable du programme.

1. LES DIFFERENTES PHASES DE LA RECHERCHE

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. Quant aux sondages aréolaires, l'expérience demeurait limitée, surtout en démographie où l'habitude est généralement de tirer des échantillons de ménages ou d'individus sur liste. 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 :

- 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 différentes phases du programme, les sites de travail et les plans d'expérience sur chacun d'eux.

Afin de disposer de références fiables, nous avons travaillé d'abord sur une ville française, *Marseille*, disposant, à une même date, d'une image TM, d'un recensement récent disponible au niveau de l'îlot et d'une couverture aérienne : l'intégration de l'ensemble de ces informations dans une base de données gérée par le système d'information géographique SAVANE (développé par l'Unité d'Infographie de l'ORSTOM) 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 (1985-86), nous avons travaillé, à partir du second semestre 1986, sur la ville de Quito (EQUATEUR), qui disposait d'images satellite SPOT et LANDSAT TM et des informations nécessaires (recensement, couverture aérienne) pour vérifier la validité des méthodes développées ; dans cette ville, les travaux furent menés dans le cadre de l'Atlas Informatisé de Quito¹.

Deux objectifs étaient assignés à cette seconde phase de la recherche, menée 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;
- réaliser une première application afin de tester son efficacité en termes de rapidité, coût et précision. Cette application fut menée au dernier trimestre 1987, au cours duquel nous avons réalisé une enquête Migrations auprès d'un échantillon sélectionné à partir d'une image SPOT de Quito.

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 donc abouti à la définition et à l'évaluation d'une méthode de sondage aréolaire sur image satellite adaptée à notre objectif : la production rapide de données démographiques en ville. C'est cette méthode, appliquée pour la première fois à Quito pour l'enquête Migrations, que nous allons décrire dans les pages qui suivent.

2. LA METHODE D'ENQUETE DEMOGRAPHIQUE PAR SONDAGE AREOLAIRE SUR IMAGE SATELLITE

2.1. La structure générale du plan de sondage

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

- au 1er degré : les aires sélectionnées sont des îlots,
- au 2ème degré : les unités enquêtées sont des ménages.

Comme le montre le Tableau 1, l'image satellite sert à :

- *délimiter la base de sondage* : la limite urbaine est tracée sur l'image, à partir de l'information fournie par celle-ci ;
- *stratifier la base de sondage* : on améliore la précision des estimations démographiques en utilisant une information sur la morphologie des quartiers pour stratifier la base de sondage. Une stratification selon la densité du bâti extraite d'une image SPOT diminue d'environ 30 à 40 % la variance des estimateurs.
- *sélectionner l'échantillon d'îlots* : en procédant à un tirage systématique par grille, on s'assure une bonne répartition géographique des îlots de l'échantillon sur l'ensemble de la ville. Cette technique permet un gain de 20 à 30 % sur la variance des estimateurs, par rapport à un sondage aléatoire simple.

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.

Tableau 1 - 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.

2.2. Les étapes de la sélection de l'échantillon

Pour mettre en œuvre ce plan de sondage aréolaire à deux degrés, un certain nombre d'opérations doivent être réalisées ; la figure 1 résume l'enchaînement de ces différentes étapes, que nous allons envisager successivement.

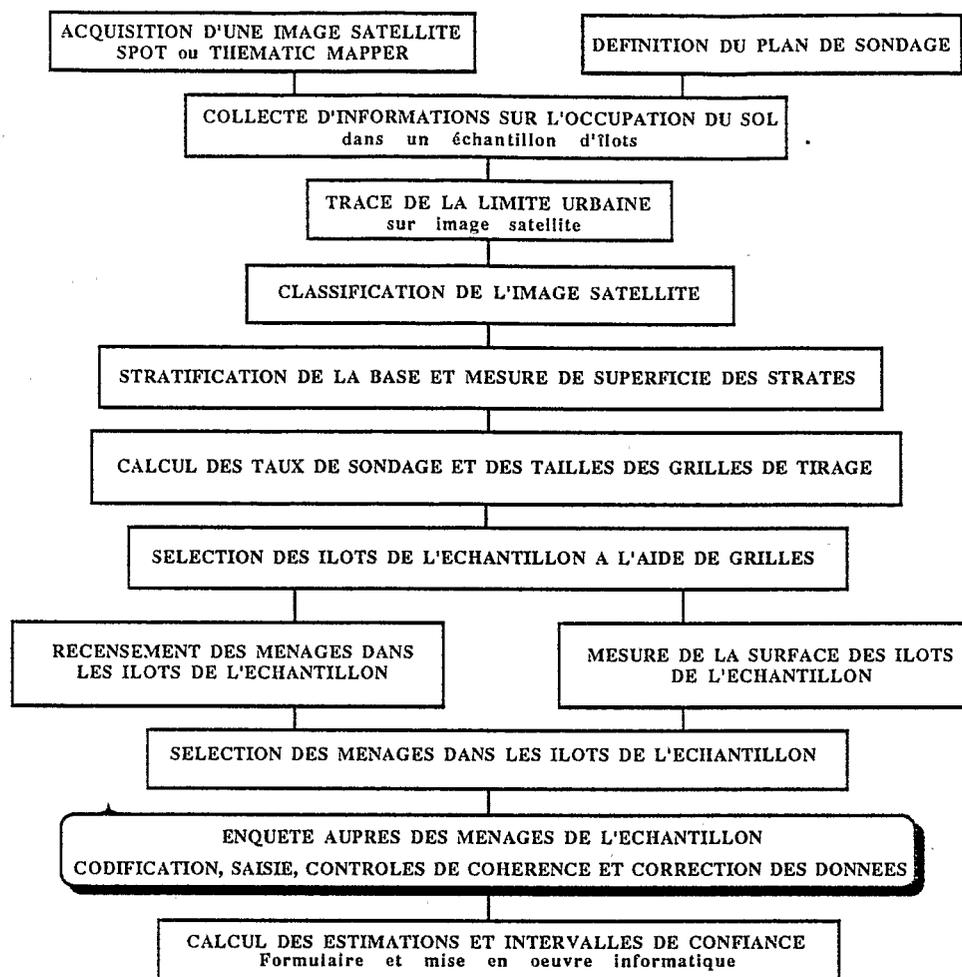
Première étape : La délimitation de la base de sondage

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*. Si l'on définit la ville comme une *zone continue d'espace bâti*, deux techniques 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 ce canal à une échelle voisine du 1/ 30 000, en utilisant les teintes de gris de l'image, l'agencement général, la structure et la texture qui renseignent sur le degré de végétation ou de minéralisation (construction) et le type de tissu urbain ; la limite est tracée là où se termine une zone continue d'espace bâti, en s'efforçant de suivre une limite (naturelle ou artificielle) visible sur l'image et sur le terrain.

Figure 1 - Les différentes étapes de la mise en oeuvre de la méthode



- 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 (Photo 1) .

Deuxième étape : La stratification de la base d'après l'information sur la densité du bâti extraite de l'image

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 (environ une centaine pour une ville de 20000 ha ; Photo 2). La méthode de classification que nous préconisons est une *classification selon la densité du bâti* : aisément modélisable à partir des images satellite, la densité du bâti est, d'autre part, un critère de stratification efficace pour une enquête à objectifs démographiques ou socio-économiques.

Photo 1- Délimitation de la base de sondage : tracé de la limite urbaine

Photo 2 - Composition colorée SPOT :
localisation des vérités terrain

Photo 3 - Classification de l'image
SPOT selon la densité du bâti

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 seuillé l'image en n classes (n, compris entre 3 et 6), on dispose donc d'une classification de la zone urbanisée en fonction de n niveaux de densité du bâti (Photo 3).

Selon le type de logiciel de traitement d'image dont on dispose, cette classification peut être réalisée sur des pixels, ou sur des zones (après extraction de la voirie sur le canal panchromatique à partir d'opérateurs de morphologie mathématique).

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. Le zonage est effectué sur un tirage du canal panchromatique, en s'efforçant de suivre des frontières, naturelles (par exemple, des rivières) ou artificielles (par exemple, des rues), afin de ne pas couper les pâtés de maisons, qui constitueront l'unité de base de l'échantillon au premier degré (Photo 4).

Les superficies des zones ainsi délimitées sont ensuite mesurées : la mesure de superficie des strates est, en effet, une information nécessaire pour calculer les estimations démographiques.

Troisième étape : 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 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 dans la strate ; 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'opération suivante consiste à identifier sur l'image les îlots correspondant aux points de la grille (Photos 5 et 6). 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.

Quatrième étape : 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. Ceux-ci établissent sur une fiche un schéma simplifié du pâté de maisons sur lequel figurent (Photo 7) : les renseignements nécessaires à

Photo 4 - Stratification de la base
de sondage : zonage selon la densité
du bâti

Photo 5 - Sélection des îlots de la strate n° 4
à l'aide d'une grille plaquée sur l'image
SPOT panchromatique

Photo 6 - Les îlots de l'échantillon
(extrait : partie centrale de Quito)

Photo 7 - Fiche îlot : sélection
des ménages à enquêter

l'identification du pâté de maisons par l'enquêteur (noms des rues, éléments naturels, ...etc), le dessin des bâtiments de l'îlot, le nombre de ménages dans chacun de ceux-ci, ainsi que la numérotation des ménages de 1 à N.

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.

Cinquième étape : La sélection des ménages à enquêter

Dans les îlots de l'échantillon comptant moins de m ménages (m , de l'ordre de 5 ou 10), 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 m 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 m ménages à enquêter (Photo 7). L'enquêteur doit procéder à l'enquête auprès de tous les ménages de la liste.

Une fois réalisées la codification et la saisie de l'information collectée auprès des ménages de l'échantillon, il s'agit d'estimer les résultats démographiques au niveau de la population entière à partir des informations recueillies sur l'échantillon de ménages. Pour cela, on applique un formulaire d'estimation correspondant à la structure du sondage (Tableau 1).

Le calcul des estimations des statistiques recherchées et l'évaluation des erreurs d'échantillonnage qui leur sont associées sont réalisés informatiquement, à l'aide de programmes chaînant des commandes d'un logiciel adéquat pour appliquer le formulaire de calcul des estimateurs et de leur variance.

3. LA PRECISION DE LA METHODE

A partir des expériences menées sur Marseille (données exhaustives) et Quito (données sur échantillon), nous avons pu calculer les variances des estimateurs selon différents plans de sondage¹. Les résultats obtenus 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. Rappelons l'un des principaux d'entre eux : 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.

Outre ces résultats obtenus grâce aux recherches préliminaires effectuées sur Marseille et Quito, deux démarches ont été mises en oeuvre pour évaluer la méthode à partir de son application quiténienne : d'une part l'évaluation séparée de la précision des techniques correspondant à chacune des étapes de la sélection de l'échantillon, d'autre part les estimations des variances des estimateurs calculées à partir des données collectées lors de l'enquête Migrations.

¹ Voir les résultats détaillés dans : BARBARY O., 1988.

3.1. L'évaluation de la précision des étapes de sélection de l'échantillon

Réalisant à Quito la première application en vraie grandeur de notre méthode de sondage à partir d'image satellite, nous avons utilisé tous les documents disponibles pour valider les différentes étapes du tirage de l'échantillon.

Nous avons procédé aux vérifications suivantes :

- *détermination de la limite urbaine sur image SPOT* : comparaison avec la limite déterminée par analyse visuelle de la couverture photographique de novembre 1987 à l'échelle du 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 dans un échantillon d'îlots ;
- *mesure de surface des îlots* : comparaison avec les mesures obtenues par planimétrage des îlots sur les plans au 1/2000 de l'Institut Géographique Militaire.

La mesure de la précision des différentes étapes du tirage de l'échantillon permet de conclure positivement sur la validité des techniques adoptées : elles ont permis une mise en oeuvre tout à fait correcte du plan de sondage.

3. 2. Les coefficients de variation d'une série d'estimateurs de l'enquête Migrations

Les coefficients de variation des estimateurs issus de l'enquête Migrations, dont le Tableau 2 donne quelques exemples, confirment la performance du plan de sondage à partir d'image SPOT adopté pour cette enquête.

Tableau 2 - 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 de leur logement	46,01	2,49
Sexe ratio	0,957	1,50
% de natifs de Quito	63,17	1,38
% éducation secondaire 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 statuer définitivement sur les qualités de précision de la méthode, il importe de comparer ces précisions à celles fournies par d'autres méthodes de sondage utilisées pour des enquêtes démographiques en milieu urbain, en tenant compte des deux observations suivantes :

- dans le tableau 2, 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;
- désirant tester une *stratification issue uniquement de la télédétection*, nous n'avons pas introduit dans celle-ci des connaissances sur la ville qui aurait permis de l'améliorer.

4. 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 générale¹, 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 ses coûts de mise en oeuvre 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 2 de cette communication, cette technique de production de données démographiques pourrait être appliquée dans d'autres villes.

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 et de la recherche urbaines. L'ensemble des tâches pouvant être réalisées sur une configuration micro-informatique standard, les sites potentiels d'application de la méthode sont très nombreux : les facteurs limitants n'ont trait qu'à la taille de la ville et à la nébulosité qui y règne.

Si la méthode développée est *opérationnelle* et peut d'ores et déjà être utilisée en appliquant le schéma décrit ici, elle est aussi, bien évidemment, *perfectible*. Accumuler des expériences d'application de notre méthode dans des contextes urbains différents, intégrer les innovations que connaîtra la télédétection urbaine, notamment celles relatives à la hauteur et à l'agencement des bâtiments, contribueront à améliorer la solution actuellement proposée.

¹ Voir détail des résultats dans les textes cités en bibliographie.

INDICATIONS BIBLIOGRAPHIQUES

Ouvrages

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.

Articles et communications

DUREAU F. et GUILLAUME A., 1984.

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

DUREAU F., 1989.

Utiliser la télédétection spatiale pour observer les populations citadines. Paris, ORSTOM, Villes et citadins du Tiers-Monde, n° 4, pp. 23-55.

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

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

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

Stratification de l'espace urbain quiténien dans une problématique démographique. Application à Quito (Equateur). Paris, ORSTOM, Collection Colloques et séminaires, Journées de Télédétection de l'ORSTOM, Bondy, 17-19 novembre 1988, pp. 57-68.

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.

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. ORSTOM, 217 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.