

VII

IMAGES SATELLITE ET DÉMOGRAPHIE : PRÉSENTATION D'UNE NOUVELLE MÉTHODE DE PRODUCTION D'INFORMATION SUR LES POPULATIONS CITADINES

Françoise DUREAU

Dans les pays en développement, modalités de l'urbanisation et déficiences de l'information cartographique de base se conjuguent pour rendre les populations citadines particulièrement difficiles à observer. Dans ce contexte, les techniques traditionnelles de la collecte démographique, recensements exhaustifs et enquêtes par sondage sur liste 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.

C'est pourquoi, depuis les années cinquante, ont été développées des méthodes de collecte de données démographiques adaptées aux spécificités des villes des pays en développement : démonstration a été faite que l'on peut utiliser avec profit l'information exhaustive sur la morphologie urbaine pour recueillir rapidement, par sondage, des données relatives aux citadins. Depuis le milieu des années quatre-vingt, la télédétection spatiale, assurant une observation continue et relativement précise de l'occupation du sol, constitue une nouvelle source de données particulièrement intéressante. Dans le cadre d'un programme de recherche initié en

1985, une équipe pluridisciplinaire de l'ORSTOM¹ a développé une méthode de collecte de données démographiques en milieu urbain intégrant l'information sur la morphologie urbaine apportée par les satellites à haute résolution. 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.

1. L'OBSERVATION SUIVIE ET SPATIALISÉE DES POPULATIONS URBAINES : UN BESOIN NON SATISFAIT PAR LES TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE LA COLLECTE DÉMOGRAPHIQUE

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 observé qu'un échantillon de la population.

Les *recensements* 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 le taux de croissance annuel peut dépasser 10 %. 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.

Enfin, l'ampleur des moyens à mettre en œuvre 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

1. L'équipe de recherche était composée de : Barbary O. (statisticien), Dureau F. (géographe-démographe, responsable du programme de recherche), Lortic B. (télé-détection), Michel A. (urbaniste spécialisé en télé-détection).

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, recueillant 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 à jour. 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 : ils ne permettent 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.

2. UTILISER LA MORPHOLOGIE URBAINE POUR PRODUIRE DES INFORMATIONS SUR LES POPULATIONS CITADINES

Viser une amélioration des recensements exhaustifs offre peu d'intérêt, puisque ceux-ci demeureront toujours trop longs à mettre en œuvre 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'îlots¹ précisément identifiés ; d'autre part, une bonne connaissance de la morphologie urbaine permet de stratifier la ville, donc d'améliorer la précision du sondage, et d'obtenir des résultats selon un découpage spatial significatif de la ville enquêtée.

1. Dans l'ensemble du texte, les termes « îlot » et « pâté de maison » sont employés indifféremment : ils désignent une portion d'espace, généralement un polygone, délimitée par la voirie ou des frontières naturelles telles que cours d'eau ou ravins.

C'est ce type de raisonnement qu'a mené Vernière, 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 (1934) ou Park (1937) 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, 1952).

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 l'information morphologique 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 logements, 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.

A partir du milieu des années quatre-vingt, tandis que le recours aux photographies aériennes sur les centres urbains des pays en développement devient de plus en plus problématique, la mise en service des satellite SPOT et TM permet d'envisager le développement de méthodes d'observation démographique intégrant les données morphologiques observables sur image satellite. L'idée centrale reste 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.

3. LA CONCEPTION GÉNÉRALE DU PROGRAMME DE RECHERCHE ORSTOM : UN DOUBLE SOUCI D'OPÉRATIONNALITÉ ET DE VALIDATION DE LA MÉTHODE

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. 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. 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.

Étant 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 au contexte 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 et les plans d'expérience sur chacun de ces sites. Afin de disposer de références fiables, nous avons choisi de travailler d'abord sur une ville française, *Marseille*, disposant à une même date d'une image TM, d'un recensement récent et d'une couverture aérienne à grande échelle : l'intégration de l'ensemble de ces informations dans un système d'information géographique nous a placés dans une situation d'expérimentation quasi-idéale. 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.

4. DESCRIPTION DE LA MÉTHODE DE SONDAGE ARÉOLAIRE SUR IMAGE SATELLITE

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 œuvre d'un sondage probabiliste à partir d'image satellite pour la production rapide de données démographiques en milieu urbain.

4.1. Description générale

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 1 en précise les principales caractéristiques.

Tableau 1 – *Caractéristiques du plan de sondage*

Structure générale	Sondage aéroilaire 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 selon 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.

La méthode de sondage développée consiste en un *sondage aréolaire à 2 degrés*. Au 1^{er} degré, les aires sélectionnées sont des *îlots*. Au 2^e degré, les unités enquêtées sont des *ménages*.

Comme le montre le Tableau 1, 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 et adaptée au savoir-faire 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 : en procédant à un tirage systématique par grille, on assure une bonne répartition géographique des îlots de l'échantillon sur l'ensemble de la ville.

4.2. Les étapes de sa mise en œuvre

Pour mettre en œuvre le plan de sondage décrit ci-dessus, un certain nombre d'opérations doivent être réalisées ; la figure 1 résume l'enchaînement de ces différentes étapes. Les paragraphes suivants sont consacrés à une brève description de chacune des principales étapes.

4.2.1. 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. Étant donné le type d'information fournie par les images satellites, 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 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.

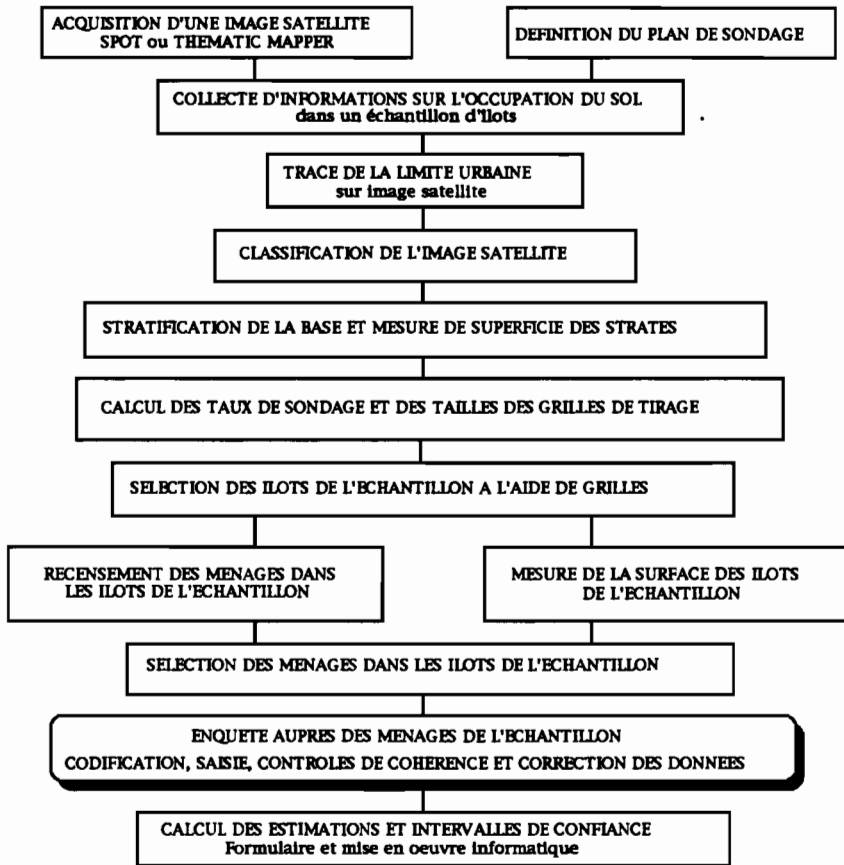


Figure 1 – *Les différentes étapes de la mise en œuvre de la méthode*

– 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.

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.

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

Parmi les stratifications actuellement réalisables à partir d'image satellite, la plus efficace pour une enquête socio-démographique est une stratification selon la *densité du bâti*. Cette classification 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.

Cette classification est basée sur la recherche de la meilleure régression entre la densité du bâti observée sur le terrain dans une centaine d'îlots et l'indice de végétation calculé sur l'image SPOT ; 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. Le zonage est effectué sur un tirage à grande échelle du canal panchromatique, 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.

4.2.3. 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 de 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.

4.2.4. 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 décamètre, d'un clinomètre et d'une boussole¹, 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.

4.2.5. 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 îlot.

Le premier objectif étant généralement prioritaire, on adopte la stratégie suivante de sélection des ménages : on enquête un petit

1. Ou d'un GPS (Global Positioning System), si l'on peut disposer de ce système.

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.

4.2.6. 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 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 micro-ordinateur : SPSS, SAS, Dbase) pour appliquer le formulaire de calcul des estimateurs et de leur variance.

5. ÉVALUATION DE LA MÉTHODE EN TERMES DE PRÉCISION

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 les niveaux de précision obtenus.

Trois démarches ont été mises en œuvre 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 et Quito ;
- 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 exclusion de la base. Pour l'estimation des effectifs, le gain que permet la stratification selon la densité du bâti se situe autour de 30 à 40 % de la variance de l'estimateur.

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 a permis de sélectionner les techniques les plus performantes pour chacune des étapes, autorisant ainsi une mise en œuvre correcte du plan de sondage.

Les coefficients de variation des estimateurs issus de l'enquête Migrations confirment la performance du plan de sondage à partir d'image SPOT adopté pour cette enquête. Pour un échantillon d'environ 3 000 ménages, à Quito, les coefficients de variation d'une série d'indicateurs démographiques sont compris entre 1 et 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

Tableau 2 – *Modes d'évaluation des différentes étapes du plan de sondage*

ÉTAPE	MODE D'ÉVALUATION
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 de Quito.

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 œuvre 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 cet article, cette technique de production de données démographiques peut être appliquée dans d'autres villes. Les stages de formation que nous avons organisés nous ont donné l'occasion de vérifier l'opérationnalité de la méthode dans des contextes urbains variés : Cali (Colombie), Casablanca (Maroc), Ibadan (Nigeria), Santiago du Chili. De plus, une

collaboration avec les économistes de l'ORSTOM, en 1992, a permis de procéder à une application complète de la méthode de sondage pour une enquête sur le secteur informel à Yaoundé (Cameroun). Enfin, dans le cadre d'un programme de recherche en coopération avec l'Université des Andes de Bogota, nous avons procédé en 1993 à une autre application complète de la technique de sondage pour sélectionner l'échantillon d'une enquête sur les formes de mobilité spatiale des populations de Bogota et son aire métropolitaine (Dureau, 1994).

Avec cette méthode, il est possible de mettre en œuvre rapidement une enquête par sondage dans une ville ne disposant d'aucune base de sondage classique, permettant de produire rapidement des informations socio-démographiques *quantifiées* et *spatialisées*. 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*. Par ailleurs, l'allégement 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. Ainsi, 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. 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 sommairement ici, elle est aussi, bien évidemment, perfectible. Continuer d'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.

collection
VILLES

Coordonné par
Françoise DUREAU
Christiane WEBER

***Téledétection
et systèmes
d'information
urbains***



anthropos

collection **VILLES**
dirigée par Denise Pumain

Coordonné par
Françoise DUREAU
Christiane WEBER


***Téledétection
et systèmes
d'information
urbains***

Ouvrage publié avec le concours
du ministère de la Recherche et de la Technologie
et la société SPOT IMAGE

Anthropos

Diffusion : Economica, 49, rue Héricart - 75015 Paris



Achevé d'imprimer par  Corlet, Imprimeur, S.A.
14110 Condé-sur-Noireau (France)
N° d'Imprimeur : 9706/271 - Dépôt légal : septembre 1995
Composition-mise en pages : Reprotyp - 14110 Condé-sur-Noireau
Imprimé en C.E.E.