

F. DUREAU, B. LORTIC, A. MICHEL, M. SOURIS
Equipe télédétection, ORSTOM

L'UTILISATION DE LA TELEDETECTION POUR L'OBSERVATION DES
POPULATIONS URBAINES. UN PROGRAMME DU DEPARTEMENT D EN COURS A
QUITO.

Depuis 1985, nous menons des recherches ayant pour objectif de mettre au point un système d'observation permanent des populations urbaines utilisant l'information sur la morphologie urbaine apportée par les satellites à haute résolution (SPOT et THEMATIC MAPPER). Que ce soit pour la phase de développement méthodologique sur Marseille (France), ou pour la réalisation de nos travaux à Quito (Equateur), le traitement informatique des données géographiques tient une place très importante dans notre programme de recherche.

L'utilisation d'un système d'information géographique est fondamentale dans la phase de mise au point du système d'observation démographique menée sur Marseille: les différents axes de recherche impliquent la mise en relation de données localisées issues de sources d'information variées et de nombreux traitements de données géographiques. D'autre part, du fait de ses qualités (continuité spatiale et temporelle de l'observation, caractère numérique des données), la télédétection constitue une source d'informations privilégiée pour l'actualisation des données d'un observatoire urbain gérées par un système d'information géographique, tel que celui auquel nous travaillons à Quito.

1. POURQUOI UTILISER LA TELEDETECTION POUR L'OBSERVATION DES
POPULATIONS URBAINES?

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 nord-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 LAUJE, 1952).

La mise en évidence et la caractérisation des relations entre la morphologie urbaine et les caractéristiques de la population citadine établies par ces travaux sont 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 (voir tableau 1). L'idée de base de ces méthodes est d'exploiter l'information exhaustive fournie par les photographies aériennes pour recueillir rapidement, par sondage, des données relatives aux populations urbaines, ou pour actualiser l'effectif de population d'une ville ayant fait l'objet antérieurement d'un recensement de population.

Les caractéristiques de l'urbanisation dans les pays en développement, les modes particuliers de résidence des habitants (systèmes complexes de pluri-résidences), et la rareté des élé-

ments de connaissance classiques (cartes, plans cadastraux ou fichiers administratifs) rendent les populations des villes des pays en développement particulièrement difficiles à observer: pourtant, les rythmes de croissance démographique très élevés et les modifications rapides du tissu urbain nécessitent des observations répétées. Les méthodes classiques de collecte de données démographiques ne permettent pas de réaliser une observation suivie et spatialisée des villes des pays en développement:

- les recensements exhaustifs exigent des moyens (techniques, financiers et humains) qui interdisent une périodicité inférieure à une dizaine d'années, et nécessitent des temps d'exploitation très longs (souvent supérieurs à 3 ans, incompatibles avec les rythmes de croissance des villes);

- la mise en oeuvre des enquêtes par sondage est souvent rendue impossible par l'absence de base de sondage complète et à jour.

Face aux limites des méthodes classiques de collecte de données démographiques, les techniques d'estimation de la population à partir de photographies aériennes ont trouvé un écho certain depuis la fin des années soixante auprès des urbanistes opérant dans les villes des pays en développement, où elles ont fait la preuve de leur efficacité (voir tableau 1). Cependant, le recours aux photographies aériennes devient de plus en plus problématique. En effet, les couvertures aériennes des villes des pays en développement sont de plus en plus rares en raison de l'ampleur des moyens qu'elles réclament: la répétitivité de l'observation aérienne est de moins en moins assurée dans ces villes. En revanche, cette répétitivité est maintenant offerte par les nouveaux satellites SPOT et THEMATIC MAPPER, qui ont une résolution suffisante (respectivement 10/20 mètres, et 30 mètres) pour observer assez finement le tissu urbain.

Les images-satellite présentent des qualités indéniables, inhérentes à leur mode d'enregistrement et à la nature du document diffusé:

- répétitivité des observations (TM: 16 jours - SPOT: 1 à 4 jours);

- exhaustivité spatiale;

- coût raisonnable: environ 15 fois moins que les photographies aériennes;

- caractère numérique des données;

- richesse de l'information enregistrée avec possibilité de vision stéréoscopique.

Il semble donc nécessaire de tester dès à présent 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'agit 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 reste la même: utiliser l'information exhaustive

sur la morphologie urbaine apportée par les images-satellite pour recueillir, rapidement, par sondage, les données relatives aux populations urbaines.

Une meilleure connaissance de l'espace urbain grâce à l'information apportée par les images-satellite constitue un facteur important d'amélioration d'un système d'enquête démographique par sondage:

- pour l'établissement d'une base de sondage complète et à jour, composée d'îlots clairement définis,
- pour l'optimisation du sondage par la prise en compte de l'information sur la morphologie urbaine,
- pour l'obtention de résultats localisés, selon un découpage significatif de la ville enquêtée.

De plus, on peut envisager l'utilisation de la télédétection comme moyen de connaissance autonome de la dynamique urbaine: certains phénomènes démographiques ont une traduction physique immédiate, et l'évolution des formes d'occupation de l'espace constitue une des dimensions importantes de la croissance urbaine.

II. LE PROGRAMME DE RECHERCHE A L'ORSTOM

Pour mettre au point un système de production de données démographiques spatialisées en milieu urbain intégrant la télédétection spatiale, nous menons des travaux approfondis dans deux directions principales:

- l'interprétation des images satellitaires à haute résolution en milieu urbain: définir quelles sont les informations relatives à la morphologie urbaine contenues dans ces images et quels sont les traitements permettant d'extraire ces informations;
- les relations bâti/population et les sondages spatiaux en démographie urbaine: définir quels sont les critères morphologiques pertinents pour l'observation démographique.

Ces axes de recherche sont menés depuis début 1985 sur la ville de Marseille (France), qui disposait dès cette date des données nécessaires à la première phase de développement méthodologique, c'est-à-dire des références fiables pour tester la validité des méthodes mises au point au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

Au stade où nous sommes actuellement, nous disposons déjà d'éléments pour la mise en oeuvre d'un sondage stratifié sur image-satellite Thematic Mapper: les développements réalisés en télédétection permettent de classer l'image de façon satisfaisante sur la densité du bâti (paramètre essentiel de stratification pour une enquête démographique), et les recherches en sondages aéroportés ont mesuré exactement le gain de précision apporté d'une part par la technique de tirage systématique sur grille, d'autre part une stratification sur la densité du bâti, ou sur une typologie de la morphologie urbaine. L'ensemble des résultats confirme la pertinence de la méthode de sondage aéroporté stratifié sur image-satellite pour une enquête démographique.

Depuis septembre 1986, nous travaillons en Equateur, dans le

cadre de l'Atlas Informatisé de Quito, où nous réalisons la première application en vraie grandeur du système d'observation démographique intégrant la télédétection. Dans cette deuxième phase du programme, nous abordons le second aspect de l'intégration information géographique et télédétection: la télédétection, source d'information privilégiée pour l'actualisation d'une base de données gérée par un système d'information géographique. Tout en utilisant certaines données de la base pour initialiser l'extraction d'information sur image-satellite, il s'agit d'intégrer dans la base les informations issues des traitements des images-satellite: elles pourront alors être croisées avec l'ensemble de l'information déjà disponible dans la base de données géographiques.

La localisation des données est alors une information fondamentale: seule clé commune, c'est elle qui permet de comparer et de croiser les différentes données entre elles, avec des traitements qui conservent la pertinence spatiale des résultats.

III. LES RECHERCHES REALISEES DANS LE CADRE DE L'ATLAS INFORMATISE DE QUITO (EQUATEUR)

A Quito, il s'agit d'appliquer les méthodes développées sur le "cas d'école" que constitue Marseille, où nous disposons, à des dates très voisines, de l'information démographique, morphologique et satellitaire.

Cette application s'inscrit dans le projet Atlas Informatisé de Quito auquel participent la Municipalité de Quito, l'IGM (Institut Géographique Militaire), l'IPGH (Institut Panaméricain de Géographie et d'Histoire) et l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération). L'Atlas correspond à un double objectif: fournir les éléments pour faire un diagnostic de la ville à la fin des années 80, et développer un outil méthodologique qui permettra une actualisation périodique et le traitement performant des informations. A cet effet, les données seront intégrées dans une base gérée par le système TIGRE. La mise au point d'une méthode de collecte de données à partir de la télédétection constitue un des objectifs méthodologiques de l'Atlas, visant à satisfaire les besoins des gestionnaires urbains en matière de production rapide d'informations localisées.

Pour ce dernier objectif, les principales étapes du travail correspondent à celles qui auraient lieu, dans une phase opérationnelle, pour toute application de la méthode (voir figure 1):

- enquête sur la morphologie urbaine, où sont collectées des informations précises sur l'occupation du sol dans un échantillon d'îlots de Quito, afin d'initialiser l'interprétation des images-satellite;
- analyse des relations bâti/population, sur un sous-échantillon des îlots enquêtés du point de vue morphologique;
- stratification sur image-satellite et tirage de l'échantillon d'enquête;
- enquête démographique: mesure des effectifs de population et analyse des systèmes de résidence;
- exploitation de l'enquête, production des données démogra-

phiques par estimation.

Jusqu'à la production de données démographiques de l'enquête finale, nous n'utilisons que les documents de base susceptibles d'exister dans toute ville des pays en développement: image-satellite, et plans de ville non actualisés. Les autres types d'information existant à Quito mais généralement pas dans d'autres villes ne seront consultés qu'à la fin de l'expérimentation, afin d'examiner la pertinence de nos résultats.

Ce contrôle ne pourra d'ailleurs pas être très précis, étant donné le décalage de temps entre la dernière couverture aérienne (1984) et le dernier recensement (1982), et nos propres observations (1986-1987). Néanmoins, nous pourrions ainsi contrôler, certes de façon assez grossière:

- l'interprétation des images-satellite, en utilisant comme référence les photographies aériennes;
- les estimations d'effectifs démographiques, par rapport à des projections sous forme de "fourchettes" des chiffres du recensement de 1982.

Dans la conception générale de l'organisation du programme de recherche, nous avons choisi de réaliser sur le site de Marseille les développements méthodologiques. Néanmoins, quelques points de méthode non abordés à Marseille font l'objet de travaux spécifiques à Quito:

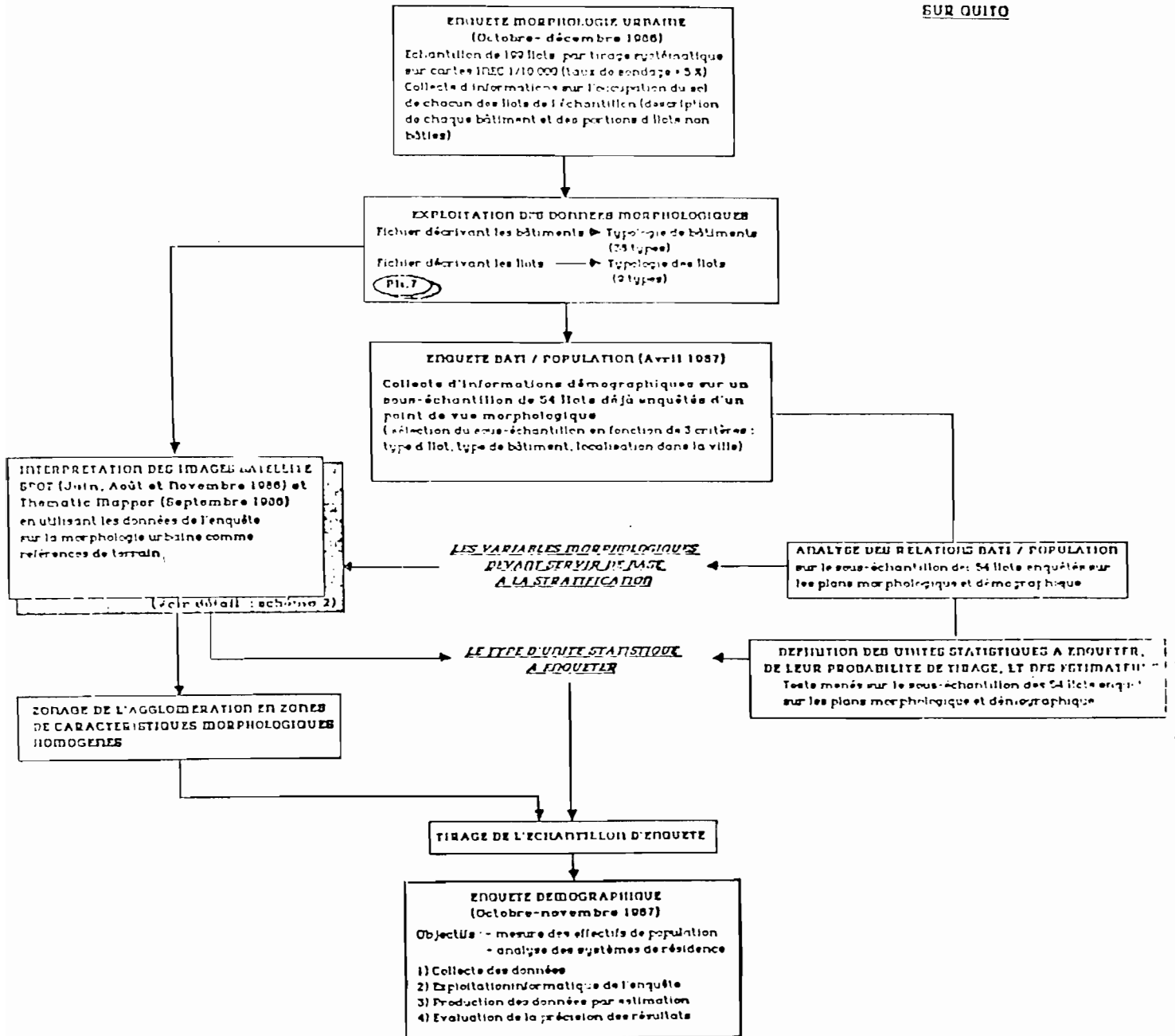
- La définition des unités spatiales à enquêter: à Marseille, du fait que nous utilisons des données du recensement pour simuler des enquêtes sur échantillon, nous sommes dans l'obligation de travailler sur les districts de recensement définis par l'INSEE, c'est-à-dire un découpage spatial résultant de critères administratifs, démographiques et physiques. La prise en considération de ces différents paramètres aboutit à un découpage spatial en unités de taille très variable, et ne correspondant pas systématiquement à l'îlot urbain au sens physique du terme, c'est-à-dire le pâté de maisons.

À Quito, n'étant pas soumis à un découpage spatial imposé, nous pouvons tester plusieurs types d'unité statistique et rechercher ainsi celles qui offrent le moins de risques d'erreur pour la collecte de données et la meilleure précision des estimations démographiques. Ce test sera mené sur le sous-échantillon d'îlots où l'on dispose de l'information démographique et morphologique.

- La stéréoscopie sur image-satellite en milieu urbain: le satellite SPOT, du fait des variations possibles de l'angle de visée, permet la vision stéréoscopique. Nous testerons sur Quito l'intérêt de cette nouvelle information en télédétection spatiale, son degré de précision pour l'appréhension des hauteurs de bâti.

- Comparaison de l'information apportée par SPOT et par TM: disposant de ces deux types d'image à des dates très voisines, respectivement août et septembre 1986, nous pouvons évaluer les avantages et inconvénients de chacune de ces sources d'information et leur degré de complémentarité.

**SCHEMA 1
PLAN D'EXPERIENCE
SUR QUITO**



IV. AU-DELA D'UN DEVELOPPEMENT METHODOLOGIQUE. DES REPERCUSSIONS FONDAMENTALES...

Tout au long de ce texte, nous avons considéré l'utilisation de la télédétection spatiale en démographie en tant qu'élément de solution pour créer des données qui font de plus en plus défaut dans les villes à croissance rapide des pays en développement. Il nous semble toutefois important de ne pas clore cet article sans mentionner un autre aspect de ce programme qui, de fait, dépasse le strict cadre du développement méthodologique en collecte des données démographiques d'une information localisée relative aux caractéristiques morphologiques du milieu urbain.

En démographie ou dans toute autre discipline, indicateurs, concepts, et problématique sont étroitement liés à la méthode de collecte des données. L'usage éventuel de la télédétection spatiale en démographie urbaine aura inévitablement un impact à ces différents niveaux. Quelques exemples permettent de le saisir facilement:

- au niveau des définitions: le recours aux images-satellite favorise les critères morphologiques tels que la densité du bâti par unité de surface pour la définition des limites urbain/rural;

- au niveau des indicateurs: l'analyse des formes et des structures et, de manière générale, des changements internes à la ville ou à sa périphérie, sur les images-satellite, peut permettre l'élaboration d'un certain nombre d'indicateurs qualitatifs de la croissance urbaine;

- au niveau de la problématique: l'usage de la télédétection pour l'observation des populations urbaines introduit l'espace comme vecteur d'observation, du fait de la stratégie de sondage spatial stratifié sur la morphologie, et/ou comme une dimension de la croissance urbaine. Les différenciations internes à la ville, la dynamique des sous-populations urbaines se trouvent ainsi privilégiées dans l'analyse démographique d'une ville. A une autre échelle, faciliter grâce à la télédétection l'évaluation répétée des effectifs de population des villes favorise les recherches sur la dynamique démographique des armatures urbaines, centrées sur l'analyse systémique des tailles de villes.

Enfin, du fait de l'allègement de l'échantillon enquêté que permet la stratification morphologique sur image-satellite, cette recherche, loin de ne contribuer qu'à la collecte rapide de données démographiques quantitatives, favorise également une observation démographique des individus composant l'échantillon plus fouillé que par les méthodes traditionnelles de sondage.

Ces quelques exemples ne couvrent pas l'ensemble des répercussions que peut avoir le développement d'une nouvelle méthode de collecte démographique intégrant la télédétection, mais nous en font percevoir l'ampleur. Ces répercussions sont inévitables, mais elles sont aussi et surtout, à notre avis, profitables, dans la mesure où elles donnent à la problématique population-espace une place de choix et autorisent un renouvellement de l'analyse démographique en milieu urbain.

Département **S**ociété, **D**éveloppement, **U**rbanisation
(S. D. U.)

ATLAS INFORMATISE DE QUITO

- PRESENTATION ET PREMIERS RESULTATS -

Documents de Travail

ORSTOM

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

1. L'Atlas Informatisé de Quito (AIQ) : les objectifs généraux

1.1. Bref historique du programme Atlas

Informatisé de Quito (AIQ)

H.R. GODARD

1.2. Atlas Informatisé de Quito (AIQ) :

termes de référence scientifiques et
techniques

Equipe AIQ

1.3. L'Atlas Informatisé de Quito (AIQ) :

production de connaissance et dévelop-
pement de méthodologies et d'outils

Equipe AQI

1.4. L'Atlas Informatisé de Quito (AIQ) :

un outil au service de la gestion et de
la planification urbaine

H.R. GODARD

M. SOURIS

2. L'AIQ : de nouveaux outils et de nouvelles méthodologies au service de la gestion urbaine

2.1. Configuration du matériel informatique

MATRA-SUN

M. SOURIS

2.2. La constitution de la base de données

urbaines sur Quito : premières données et
organisation de la saisie graphique

M. SOURIS

- 2.3. L'utilisation de la télédétection pour
l'observation des populations urbaines :
un programme du Département SDU en
cours à Quito
- F. DUREAU
B.LORTIC
- 2.4. Développement d'une méthode de
sondage démographique etc...
- A. MICHEL
M. SOURIS
- 2.5. Influence des facteurs météorologiques
sur la probabilité d'obtention d'une image
satellite SPOT ou THEMATIC MAPPER
- A. MICHEL
3. L'AIQ : premiers axes de réflexion, premiers documents de
travail
- 3.1. Quito et ses limites : problèmes de
définition et zone d'étude AIQ
- R. VALLEJO
- 3.2. La croissance spatiale de Quito à
partir des plans historiques (1760, 1888,
1921, 1946)
- H.R. GODARD
J.VEGA
- 3.3. Micro-zonification des dommages
occasionnés à Quito lors du séisme du
5 mars 1987
- M.A de CASTRO
- 3.4. L'évolution spatiale du réseau
bancaire
- H.R.GODARD
J. VEGA
- 3.5. Structure et dynamique des centres
de Quito et de Guayaquil
- H.R. GODARD

3.6. Composition et évolution du salaire

minimum mensuel salariés du secteur

public et travailleurs en général

(1970-1987)

H.R. GODARD
CI.de MIRAS