

L'UTILISATION DE LA TELEDETECTION POUR L'OBSERVATION DES POPULATIONS URBAINES *

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

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 (Équateur), 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 télé-détection constitue une source d'information 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 nord-américains, tels ceux de 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 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 popu-

* Ce texte reprend, en partie, une communication présentée à La Primera Conferencia Latino-americana sobre informática en Geografía, Costa Rica, 5-9 octobre 1987 : « Informatique, télédétection et observation des populations urbaines. Une recherche en cours à Quito (Équateur) », F. Dureau, B. Lortic, A. Michel, M. Souris, 29 p.

lation 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 éléments 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 œuvre 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. Par contre, 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 satellites 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 œuvre 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 satellites en s'appuyant sur l'acquis méthodologique constitué par les travaux antérieurs de production de données démographiques à partir de photographies aériennes.

Auteur	Année	Ville (Pays)	Document utilisé
Green	1958	Birmingham (USA)	Photo. aériennes N/B 1/7 500
Porter	1956	Liberia	Photo. aériennes N/B
Hadfield	1963	Chicago (USA)	Photo. aériennes N/B 1/4 800
Binsell	1967	Chicago (USA)	Photo. aériennes Couleur 1/5 240
Holz, Huff et Mayfield	1969	40 villes du Tennessee (USA)	Photo. aériennes Haute Altitude
Muret (Cru)	1969	Auxerre (France)	Photo. aériennes N/B 1/2 000
Lindgreen	1970	Boston (USA)	Photo. aériennes IRC 1/20 000
Collins et El-Beik	1971	Leeds (Angleterre)	Photo. aériennes N/B 1/10 000
Dueker et Horton	1971	Washington (U.S.A.)	Photo. aériennes Haut. Alt. 1/50 000
Hsu	1971	Atlanta (USA)	Photo. aériennes N/B 1/5 000
Anderson et Anderson	1973	23 villages du Kansas (USA)	Photo. aériennes 1/20 000
Vernière	1973	Pikine (Sénégal)	Photo. aériennes N/B 1/5 000
Kraus, Senger et Ryerson	1974	4 villes de Californie (USA)	Photo. aériennes IRC 1/60 000
Horton	1974	Washington (USA)	Photo. aériennes 1/50 000
Allan et Alemayehu	1975	Wolaneo (Ethiopie)	Photo. aériennes
D'Alleux	1975	Lagos (Nigeria)	Photo. aériennes
Henderson et Utano	1975	Albany (USA)	Photo. aériennes N/B 1/24 000
Ogrosky	1975	18 villes, Puget Sound Region	Photo. aériennes IRC Haut. Alt. 1/135
Thompson	1975	Washington (USA)	Photo. aériennes Haute Altitude
Dayal et Khair Zada	1976	Afghanistan	Photo. aériennes,
Sujarto	1978	Bandung (Indonésie)	Photo. aériennes
Henderson	1979	USA	Photo. aériennes
Lo	1979	Hong Kong	Photo. aériennes
Lo et Chan	1980	Sheuna Shui-Fan (Hong Kong)	Photo. aérienne IRC 1/63 380
Clayton et Estes	1980	Goleta Valley, St. Barbara (USA)	Photo. aériennes 1/20 000
Adeniyi	1983	Lagos (Nigeria)	Photo. aériennes 1/20 000
Laurif, Roc, Sidau et See	1983	Niamey (Niger)	Photo. aériennes 1/15 000
Neves de Oliveria et al.	1984	Sao José Dos Campos (Brésil)	Photo. aériennes N/B 1/10 000
Olorunfemi	1984	Ilorin (Nigeria)	Photo. aériennes N/B 1/8 000
Polle	1984	Téhéran (Iran), Colombo (Sri Lanka)	Photo. aériennes 1/10 000 et 1/9 000
Watkins	1985	Boulder, Colorado (USA)	Photo. aériennes N/B 1/20. et 60 000
Iaurif	1986	Bouaké (Côte d'Ivoire)	Photo. aériennes
Sabol	1968	USA	Image radar
Wellar	1969	San Antonio et Houston (USA)	Image du satellite Gemini
Reining	1973	Niger et Haute-Volta	Image Landsat
Murai	1974	Tokyo (Japon)	Image Landsat
Lo et Welch	1977	Villes de 500 000 à 2 500 000 H. (Chine)	Image Landsat

Utilisation des données de télédétection aérienne et spatiale pour des estimations démographiques

Tableau 1

L'idée centrale reste la même : utiliser l'information exhaustive sur la morphologie urbaine apportée par les images satellites 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 satellites 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.

2. 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 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 œuvre 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 aréolaires ont mesuré exactement le gain de précision apporté d'une part par la technique de tirage systématique sur grille, d'autre part par 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 aréolaire 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 satellites : 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.

3. 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 : nous procédons sur la capitale de l'Equateur à la première application en vraie grandeur du système de production de données démographiques mis au point sur Marseille.

Cette application s'inscrit dans le projet « Atlas Informatisé de Quito » auquel participent la municipalité de Quito, l'I.G.M. (Institut Géographique Militaire), l'I.P.G.H. (Institut Panaméricain de Géographie et d'Histoire) et l'ORSTOM. L'atlas correspond à une *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 satellites ;

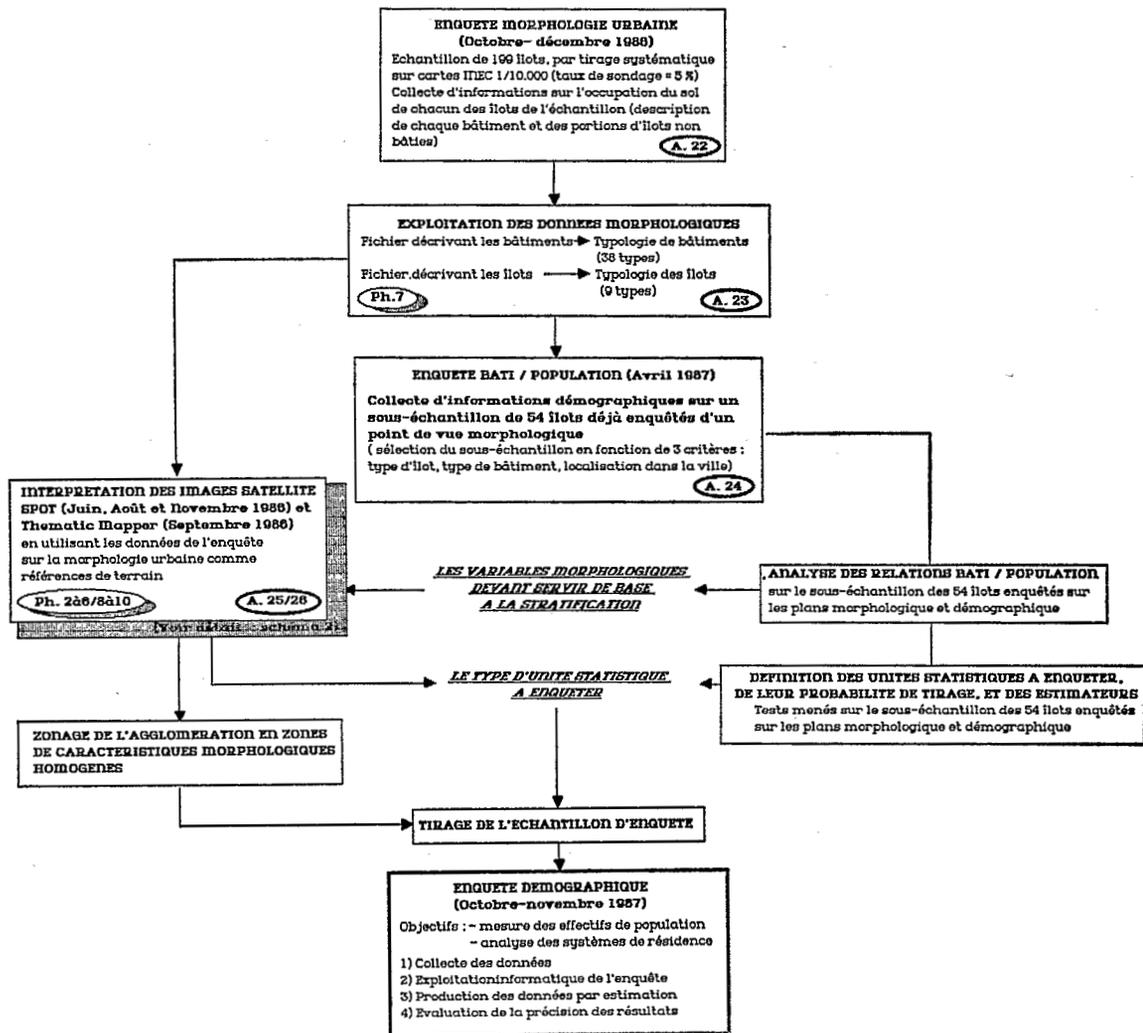
— *Analyse des relations bâti/population*, sur un sous-échantillon des îlots enquêtés du point de vue morphologique ;

— *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 démographiques par estimation.

Figure 1 : Le plan d'expérience sur Quito.



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 satellitaires, 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 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 pâtre de maisons.

À Quito, n'étant pas soumis à un découpage spatial imposé, nous pouvons tester plusieurs types d'unités statistiques et rechercher ainsi celles qui offrent le moins de risques d'erreur pour la collecte des 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 ou télé-détection 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.

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 : il s'agit de l'impact que peut avoir l'introduction dans un système de collecte de données démographiques d'une information 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 satellites 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 satellites, 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 objet d'observation*, si l'on considère les formes d'occupation du sol 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 de leur taille.

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 plus fouillée des individus composant l'échantillon 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.

PUBLICATIONS ET NOTES DE TRAVAIL DE L'EQUIPE ORSTOM

Articles

- DUREAU F. et GUILLAUME A., 1984. — La démographie depuis l'espace : un nouveau système d'observation Paris, STATECO n° 38, pp. 5-46.
- DUREAU F., 1986. — A propos du traitement informatique de données localisées. Une expérience en cours : télédétection et observation des populations urbaines. Paris, ORSTOM, collection Colloques et séminaires, Numéro sur le traitement des données localisées, pp. 263-286.
- DUREAU F. et BARBARY O., 1987. — Pour une méthode de collecte démographique en ville intégrant la télédétection spatiale. A paraître dans la collection Informatique et sciences humaines, EHESS, 42 p.
- SOURIS M., 1986. — Systèmes d'informations géographiques et bases de données. Paris, ORSTOM, collection Colloques et séminaires, numéro sur le traitement des données localisées, pp. 29-37.

Communications à des colloques

- DUREAU F. et GUILLAUME A., 1985. — La population dans l'espace. Télédétection et observation démographique des villes des pays en développement. Communication au XX^e congrès général de l'Union Internationale pour l'Etude Scientifique de la Population, Florence (Italie), 5-12 juin 1985.
- 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, 15 p.
- DUREAU F., LORTIC M., MICHEL A., SOURIS M., 1987. — Informatique, télédétection et observation des populations urbaines. Une recherche en cours à Quito (Equateur). Communication à la Primera Conferencia Latino-americana sobre informática en geografía, San José, Costa Rica, 5-9 octobre 1987.

Notes de travail non publiées

- Equipe ORSTOM (UR 406, ATOB, Unité d'infographie), 1986. — Intégration des données de télédétection dans un système d'information géographique : suivi de la morphologie et de la démographie d'une ville. Rapport intermédiaire - avril 1986. Paris. 190 p.
- Equipe ORSTOM (UR 406, Unité d'infographie), 1987. — Intégration des données de télédétection dans un système d'information géographique : suivi de la morphologie et de la démographie d'une ville. Rapport intermédiaire - août 1987. Paris. 53 p. + 537 p.
- BARBARY O., 1985. — Projet de thèse de mathématiques appliquées aux sciences de l'homme, sous la direction de M. BARBUT, EHESS. Sujet : « Elaboration de plans de sondage pour l'estimation de données spatio-temporelles, en prenant en compte les informations fournies par la télédétection. Applica-

- tion aux données démographiques en milieu urbain des pays en développement ». Paris. 20 p.
- BARBARY O., 1986. — Apport d'une stratification morphologique des districts INSEE de recensement dans l'estimation par sondage des effectifs de population à Marseille. Quito. 47 p.
- DUREAU F., 1986. — Marseille: recalage géographique. Quito. 6 p.
- DUREAU F., 1986. — Marseille : tirage de l'échantillon de travail. Quito. 9 p.
- DUREAU F. et MICHEL A., 1986. — Quito : enquête morphologique urbaine. Instructions aux enquêteurs. (Deux versions : français et espagnol). Quito. 19 p.
- DUREAU F., 1987. — Quito : enquête bâti/population. Instructions aux enquêteurs. (Deux versions : français et espagnol). Quito. 27 p.
- MICHEL A., 1986. — Projet de thèse de géographie, sous la direction de J.P. RAISON, EHESS. Sujet : « Télédétection et observation suivie de la morphologie et de la démographie des villes des pays en développement. Mise au point des méthodes d'analyse des images-satellites à haute résolution et évaluation des informations fournies par ces images ». Paris. 9 p.
- MICHEL A., 1986 (et version actualisée en 1987). — Le point sur la télédétection urbaine en 1986 à travers la bibliographie française et anglo-saxonne sur le sujet. Recueil des fiches de dépouillement des articles et ouvrages. ORSTOM. 49 p.
- MICHEL A., 1987. — Mise au point des méthodes d'analyse des images-satellites à haute résolution : étude statistique du descripteur « densité du bâti », présentation des classifications. (Image T.M. Marseille 1983). Paris. 99 p.