

F. Méthodologie

Séance spécialisée 20 :

Problèmes statistiques inhérents à la collecte
des données démographiques dans les pays
en voie de développement

F.20.C

La population dans l'espace.
Télédétection et observation démographique
des villes des pays en développement.

Françoise DUREAU
et Agnès GUILLAUME

RESUME

L'objet de cette communication est de présenter quelques réflexions sur l'usage éventuel qui pourrait être fait de la télédétection pour l'observation démographique des villes des pays en voie de développement, observation difficile à assurer avec les méthodes classiques de collecte démographique.

Les recherches débutées dans ce domaine à l'ORSTOM s'appuient sur l'acquis méthodologique constitué par les travaux antérieurs d'estimations démographiques basées sur l'interprétation de photographies aériennes. Ces travaux ont montré l'efficacité des systèmes de production de données démographiques bâtis sur la connaissance morphologique de l'espace urbain ; il importe de tester dès à présent les possibilités d'utilisation démographique des images satellites, puisque le recours aux photographies aériennes devient de plus en plus problématique.

Au-delà de l'objectif initial d'adaptation des méthodes d'observation aux réalités du milieu urbain tropical, ce thème de recherche peut être l'occasion d'engager une réflexion sur les indicateurs et les concepts employés en démographie, ainsi que sur l'intégration d'une problématique spatiale dans l'analyse démographique des populations urbaines.

SUMMARY

The purpose of this paper is to present some reflexions about the possible use that could be done of remote sensing for demographic observations in cities of developing countries, observation hard to realize with traditional methods of demographic data collection.

The research started on this subject in the ORSTOM rest on methodological knowledge created by preceding works about demographic evaluations based on the interpretation of aerial photographs. These studies have pointed out the effectiveness of systems producing demographic data based on the morphological knowledge of urban areas.

From now on it is important to test the feasibilities of demographic use of remotely sensed data, since that the access to aerial photographs becomes more and more difficult. Beyond the initial target to adapt the observation method to the reality of urban surrounding, this research subject may be the opportunity to initiate a reflexion about the concepts and indicators used by demography, and about the integration of a spatial problematic into demographic analysis of urban populations.

Les villes des pays en développement posent des problèmes complexes pour la collecte des données démographiques ; face aux difficultés de mise en oeuvre des techniques classiques en démographie, il paraît souhaitable de rechercher de nouveaux moyens d'observation répondant aux caractéristiques spécifiques de ce milieu. Intégrer une bonne connaissance morphologique de l'espace urbain dans un système d'observation démographique semble être une voie de recherche prometteuse : les expériences réalisées en application de ce principe l'ont déjà montré.

C'est pourquoi, à l'heure où les satellites d'observation de la Terre deviennent assez performants pour renseigner de façon continue sur l'occupation du sol en milieu urbain, il importe de s'interroger sur les possibilités d'utilisation de la télédétection pour l'observation démographique des villes du Tiers-Monde. Ce thème fait l'objet d'un programme de recherches inscrit au Département d'"Urbanisation et socio-systèmes urbains" de l'ORSTOM (1), et commence à recevoir l'appui financier des Ministères de tutelle.

Nous nous proposons donc de présenter ici les quelques éléments de réflexion qui ont guidé la conception de ce programme, dont la réalisation proprement dite a démarré en janvier 1985. Outre l'aspect purement statistique du problème, nous envisagerons les répercussions que peut avoir l'introduction d'une nouvelle source d'informations, spatialisée, sur les indicateurs, concepts et problématique de la démographie en milieu urbain.

1. POURQUOI DEVELOPPER DE NOUVELLES METHODES D'OBSERVATION

Le suivi des populations urbaines dans les pays en développement peut difficilement être assuré par les méthodes d'observation classiques de la démographie, du fait :

- des caractéristiques particulières de l'urbanisation : rythme de croissance des villes (souvent supérieur à 10 % par an) et formes de l'urbanisation dans les pays en développement (croissance périphérique, modifications rapides du tissu interne, développement de l'habitat spontané, permanence des activités agricoles en ville... etc.) rendent nécessaires les observations répétées de ce milieu particulièrement complexe à observer.
- de la rareté des éléments de connaissance habituels : cartes, plans cadastraux, documents d'urbanisme, fichiers administratifs font généralement défaut dans les villes des pays en développement.

(1) L'équipe de recherches comprend, outre des membres de l'Unité de Recherches "Facteurs et mesures de la croissance urbaine" du Département D, des chercheurs de l'Unité d'Infographie et de l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM ; une collaboration a été établie avec l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (laboratoire de Télésanalyse), qui a déjà acquis une expérience en matière d'intégration de la télédétection dans le système français de statistiques agricoles.

Le coût, l'ampleur des moyens techniques et humains à mettre en oeuvre pour les recensements exhaustifs en limitent la périodicité (10 ans ou plus) et conduisent à une réduction sensible de l'information recueillie lors de chaque opération de collecte ; la longueur nécessaire à leur exploitation rend souvent les résultats caducs dès leur parution, pour des villes dont la population double en moins de 10 ans. Leur principale qualité, l'exhaustivité, qui permet théoriquement d'obtenir des résultats pour tout découpage géographique au niveau le plus fin, est remise en cause par une exploitation partielle de l'information recueillie : on ne publie souvent que des résultats globaux sur l'ensemble de la ville. L'absence de cartographie de base et les problèmes de suivi de la masse d'enquêteurs que nécessite une opération de cette envergure ont des répercussions sur la qualité des résultats.

Les enquêtes démographiques par sondage permettent, théoriquement, une amélioration qualitative de la collecte, et une réduction des moyens financiers et humains à mobiliser. Mais deux facteurs limitent leur efficacité : l'absence de base de sondage complète et à jour dans des villes des pays en développement sans cartographie précise et actualisée, et l'impossibilité d'obtenir des résultats spatialisés avec des plans de sondage classiques où la stratification de la ville n'est quasiment jamais spatiale.

S'il présente peu d'intérêt de chercher à améliorer le système des recensements qui resteront toujours trop longs à mettre en oeuvre par rapport au rythme d'évolution des populations urbaines, il n'en est pas de même pour les enquêtes par sondage : étant donné les exigences en temps et en qualité de l'observation démographique, seul un système basé sur la technique des sondages peut remplir les conditions des souplesse et rapidité nécessaires dans les villes à croissance rapide. Une meilleure connaissance de l'espace urbain peut constituer un facteur important d'amélioration d'un système d'enquête démographique par sondage :

- à un niveau cartographique pur, pour l'établissement d'une base de sondage correcte et à jour, composée d'îlots clairement définis ;
- au niveau de la morphologie urbaine, pour optimiser le gain de précision que permet toute stratification, et obtenir des résultats selon un découpage significatif de la ville.

2. L'EFFICACITE DES SYSTEMES DE PRODUCTION DE DONNEES DEMOGRAPHIQUES BASES SUR LA CONNAISSANCE MORPHOLOGIQUE DE L'ESPACE URBAIN

a. L'utilisation des photographies aériennes : un acquis méthodologique

Dès 1969, un géographe de l'ORSTOM, Marc VERNIERE, a montré quel parti pouvait être tiré des photographies aériennes à grande échelle pour l'estimation de la population de Pikine, banlieue de Dakar. Ses travaux et ceux des bureaux d'urbanisme ont clairement montré l'efficacité de la méthode, qui repose sur :

- 1) un constat : les caractères morphologiques sont facilement observables exhaustivement par les couvertures aériennes des villes.
- 2) une hypothèse : il existe des relations entre les caractéristiques morphologiques du milieu urbain et les caractéristiques démographiques et socio-économiques des habitants.

L'idée centrale de la méthode est donc d'utiliser l'information exhaustive apportée par les photographies aériennes pour recueillir rapidement, par sondage, les données relatives aux populations urbaines. Tous les travaux réalisés ont montré que l'application de ce principe permet un allègement de l'échantillon de l'enquête et une spatialisation des résultats. Citons deux exemples.

• Marc VERNIERE (1978) - Dakar

Il a abondamment utilisé la photo-interprétation pour saisir les étapes de l'évolution démographique de PIKINE, banlieue de DAKAR. A l'époque, les documents démographiques disponibles sur Pikine étaient peu nombreux (enquête par sondage sur quelques îlots de l'agglomération dakaroise) ; par contre plusieurs couvertures aériennes avaient déjà été réalisées (1952, 1961, 1964, 1966, 1968, 1971).

A partir de sondages réalisés sur les photographies aériennes de 1971 et des résultats de l'enquête démographique connus pour quelques carrés de sondage, l'auteur établit une carte de répartition des densités humaines à Pikine et estime les effectifs de population par zone. Le schéma de traitement, présenté page suivante, est repris ensuite dans une optique rétrospective pour évaluer les populations en 1960, 1964 et 1966 . les résultats obtenus présentent un écart compris entre 1 et 3,5 %, avec les autres sources statistiques disponibles (O.M.S., enquêtes ponctuelles).

• IAURIF (1) 1983 - Niamey

L'objectif principal est de mettre au point une méthode d'observation des populations urbaines en réduisant les coûts de collecte par l'utilisation de la photographie aérienne et de la méthode des sondages. A plus long terme, est envisagée la création d'observatoires urbains permanents, regroupant les données ainsi collectées avec celles issues d'autres sources.

(1) IAURIF : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile de France. Il s'agissait en fait de l'IAURIF et de trois bureaux d'études (ROC, SIDAU, SEE).

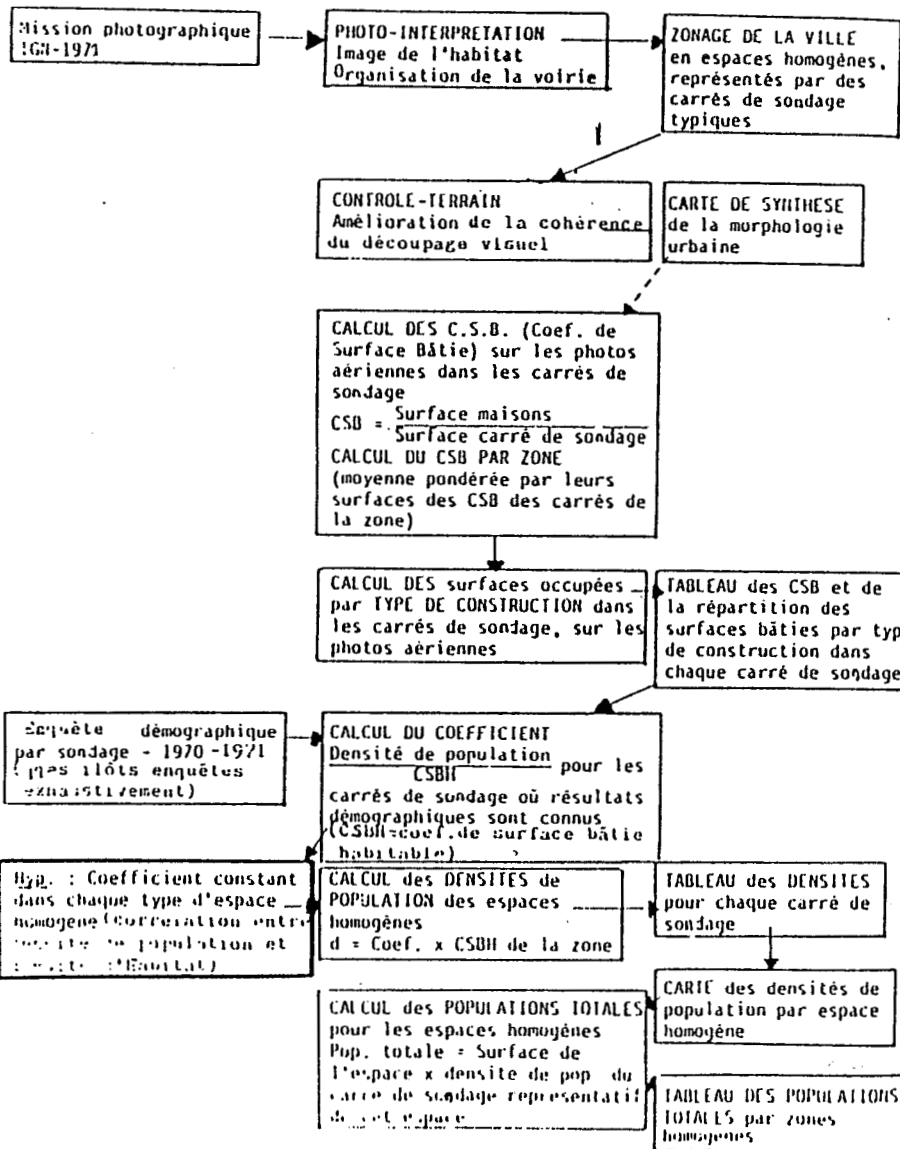
H. VERRIERE - PIKINE : SCHEMA DE TRAITEMENT

LAURIF - NIAMEY : PLAN D'EXPERIENCE

Données et Hypothèses

Traitements

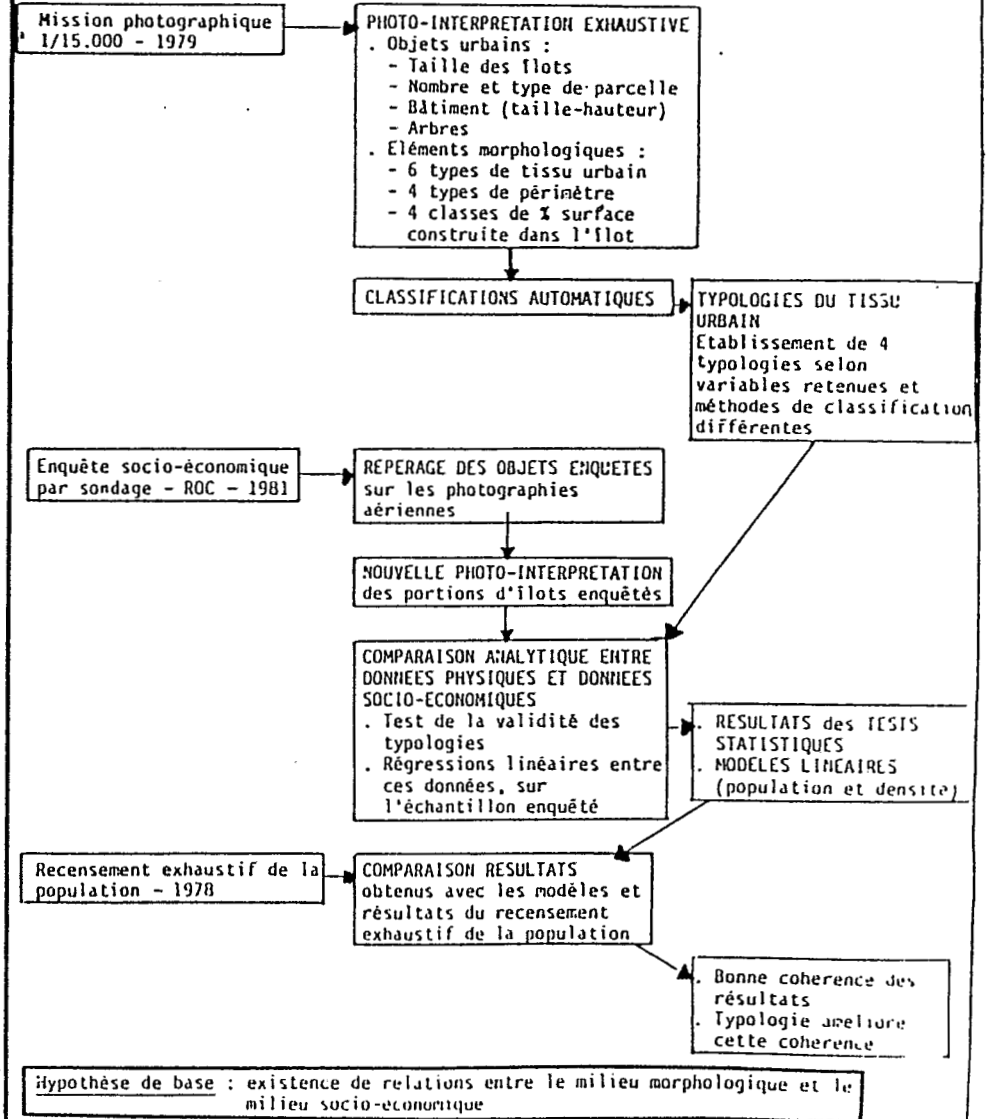
Résultats



Données

Traitements

Résultats



Hypothèse de base : existence de relations entre le milieu morphologique et le milieu socio-économique

Le schéma de la méthode testée par l'IAURIF sur Niamey est le suivant : les caractéristiques morphologiques, facilement observables, sont relevées exhaustivement sur la zone d'étude et permettent de choisir un échantillon qui fait l'objet d'une enquête socio-économique au sol. L'étude sur l'échantillon des corrélations entre les critères morphologiques et les caractéristiques socio-économiques permet ensuite d'estimer ces caractéristiques pour l'ensemble de la population de la ville étudiée.

Malgré les problèmes posés par le décalage temporel des sources de données utilisées, l'expérience de Niamey s'est révélée positive quant à la concordance des résultats obtenus avec ceux du recensement, et a permis de démontrer que :

- le système de collecte proposé est réalisable avec les moyens existants dans le Tiers-Monde, sous réserve d'obtention d'une couverture aérienne ;
- la qualité des documents photographiques, leur interprétation, et le choix de l'unité morphologique de base jouent un rôle primordial ;
- la typologie basée sur les unités morphologiques permet d'optimiser le choix de l'échantillon d'enquête.

La recherche méthodologique réalisée à Niamey marque un pas nouveau dans la voie ouverte par Marc VERNIERE / les travaux statistiques qui ont été menés dans ce cadre présentent un grand progrès dans l'amélioration des méthodes d'observation de la population utilisant des données morphologiques. Les efforts, largement concentrés jusqu'ici sur les problèmes techniques de photo-interprétation, ont porté également sur la description statistique des relations (morphologie des îlots) x (caractéristiques socio-économiques des habitants).

b. Un exemple d'utilisation démographique d'images satellites : LO et WELCH, les grandes villes chinoises

Les expériences d'utilisation d'images satellites en milieu urbain sont peu nombreuses, et répondent rarement à des préoccupations d'ordre démographique. Les quelques essais en la matière ont seulement visé l'estimation de l'effectif de la population de quelques villes.

LO et WELCH (1977) estiment directement la population des villes chinoises de plus de 500 000 habitants, à partir de leur surface mesurée sur image satellite.

Dans un premier temps, les auteurs testent la pertinence des équations mettant en relation surface de la ville et population (équations de NORDBECK, TOBLER et HUXLEY), sur plus de 150 villes de Taïwan (1951, 1956, 1961, 1966) et de Chine continentale (1953) disposant à la fois de recensements de population et de cartes. Cette expérience leur permet de conclure à l'applicabilité de la méthode dans le milieu urbain de cette partie du monde et de déterminer deux séries de coefficients et exposants d'équations linéaires et logarithmes entre la population et la surface de la ville. Ensuite, ils procèdent à l'application de

ces modèles sur 30 villes chinoises de plus de 500 000 habitants (seuil minimal retenu en fonction du degré de résolution de LANDSAT).

La comparaison entre les estimations de population établies avec les modèles spatiaux, et les résultats de recensements démographiques montre une bonne concordance des résultats. Les auteurs concluent à la validité de la méthode, et proposent quelques éléments pour son amélioration :

- utiliser une image LANDSAT à plus grande échelle (exemple 1/250 000) ;
- n'appliquer le modèle qu'à des villes couvrant une surface supérieure à 10 km² ;
- moduler les modèles selon des grandes classes de taille de villes.

Les nombreuses expériences d'observation démographique à partir de photographie aérienne et celles menées sur image satellite par LO et WELCH ont clairement montré l'efficacité de la morphologie urbaine comme vecteur pour l'observation des populations urbaines. Les photographies aériennes, dont l'interprétation est bien maîtrisée, ont permis des développements méthodologiques approfondis ; mais la raréfaction de ces couvertures limite les possibilités d'application de ces méthodes.

3. L'APPORT DE LA TELEDETECTION ET SES LIMITES

Le recours aux photographies aériennes devient de plus en plus problématique. Du fait du coût élevé des missions aériennes et de la priorité souvent donnée aux missions en milieu rural, la production de photographies aériennes en zone urbaine est de plus en plus rare dans les pays du Tiers-Monde : la répétitivité de l'observation devient une réalité de moins en moins effective.

Par contre, la télédétection spatiale "assure" une observation continue de l'occupation du sol, grâce au défilement continu des satellites autour du globe terrestre ; l'amélioration de la résolution (10 et 20 m pour SPOT, 30 m pour Thematic Mapper) autorise maintenant une observation suffisamment précise du tissu urbain.

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

- la répétitivité des observations : fréquence de l'ordre de 16-18 jours pour les LANDSAT, pour SPOT 26 jours en visée verticale et 1 à 4 jours en visée latérale ;
- un coût des images très faible : la couverture de la région Ile de France par image satellite ne coûte que 40 000 F. alors que le coût de la couverture aérienne s'élève à 600 000 F. ;
- les différents types de documents que l'on peut obtenir :
 - . un document photographique qui permet une interprétation visuelle ;
 - . un document sous forme numérique, qui permet tout traitement informatique.

- le caractère "neutre" du document permet son utilisation par différents thématiciens et une approche pluri-disciplinaire des phénomènes.
- l'information apportée par l'imagerie spatiale est plus riche que celle contenue dans les photographies aériennes. La signature spectrale bien particulière des chantiers de construction, aisément repérables donc sur les images, constitue un élément important pour la connaissance de la dynamique urbaine. Le signal enregistré par les capteurs est lié à la nature et au degré de vieillissement des matériaux.

Si les images satellites présentent des qualités indéniables, leur utilisation pose des problèmes de deux ordres :

- Des limites techniques liées au fonctionnement du système :
 - l'acquisition des images peut être perturbée par de mauvaises conditions atmosphériques (nébulosité trop forte) ;
 - certaines zones géographiques étant éloignées des stations de réception, il faut donc enregistrer les données avant de les transmettre en différé, ce qui pose des problèmes techniques complexes à résoudre.
- Des problèmes d'interprétation : contrairement à la photographie aérienne, l'image satellite ne fournit pas une image "*directement lisible*" de la réalité de l'occupation du sol. D'une part, l'enregistrement se fait sur des "pixels" carrés de 10 à 80 m de côté, ce qui empêche de conserver intégralement la forme des objets ; d'autre part, l'enregistrement se fait dans 3 à 7 longueurs d'onde du spectre électromagnétique, couvrant une bande spectrale plus large que celle maîtrisée par l'oeil humain. L'originalité et la nouveauté des documents satellitaires impliquent l'élaboration de techniques d'interprétation spécifiques. Les analyses réalisées jusqu'ici en milieu rural seront certainement peu adaptables directement au milieu urbain, caractérisé par son hétérogénéité et la faible taille des éléments constitutants.

Tout en étant conscient des limites de cet outil, il importe de tester dès à présent les possibilités d'utilisation de la télédétection en démographie urbaine, afin de tenter d'approcher 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 d'estimations démographiques basées sur la photo-interprétation.

Deux modalités d'utilisation de la télédétection en démographie urbaine doivent être envisagées :

- 1) Télédétection = élément d'amélioration des techniques de sondage. L'image sert pour la base de sondage, la stratification et l'échantillonnage.

- 2) Télédétection = moyen de connaissance autonome de la dynamique urbaine. Certains phénomènes démographiques (ex. : l'immigration) ont une traduction physique immédiate, et l'évolution des formes d'occupation de l'espace constitue une des dimensions importantes de la croissance urbaine.

4. CONTEXTE NATIONAL ET INTERNATIONAL DU SUJET DE RECHERCHE

Une première recherche bibliographique nous permet de faire le point sur l'état d'avancement des travaux dans les différents domaines impliqués dans une recherche sur l'utilisation de la télédétection pour l'observation des populations urbaines.

. La télédétection en milieu urbain

La capacité de résolution des images LANDSAT (80 x 80 m), seules disponibles jusqu'à ces derniers temps, a freiné l'utilisation de la télédétection dans les milieux caractérisés par l'hétérogénéité et la faible dimension des éléments constitutifs, tels que le milieu urbain ; peu d'applications de la télédétection en milieu urbain ont été réalisées jusqu'ici.

Les différents travaux ont essentiellement porté sur le traitement multitemps de l'occupation du sol, l'évaluation de la quantité de végétation, et l'observation des franges urbaines.

L'étude précise de l'information apportée par les capteurs à haute résolution en milieu urbain et le développement des méthodes appropriées d'extraction de cette information restent à poursuivre.

. L'utilisation de la télédétection en démographie urbaine

Les quelques travaux réalisés ont porté sur l'étude de la croissance démographique d'une ville à partir de la croissance de la tache urbaine observée sur images LANDSAT (voir l'expérience de LO et WELCH, exposée au point 2 supra).

A notre connaissance, aucune application démographique de la télédétection n'a pris en compte les différenciations morphologiques internes à la ville : cet état de fait est directement lié aux limites de l'imagerie satellitaire disponible jusqu'ici. Les recherches portant sur l'utilisation de la télédétection en démographie urbaine voient seulement le jour maintenant grâce aux capteurs à haute résolution.

En France, l'I.N.S.E.E. envisage de tester les possibilités offertes par la télédétection pour établir la limite des zones urbaines avant chaque recensement de population. Aux Etats-Unis, un débat s'engage autour de l'opportunité de renouveler les méthodes de recensement du Census Bureau, en intégrant la télédétection spatiale (BRUGIONI, 1983 ; MORROW-JONES et WATKINS, 1984).

Les sondages spatiaux

Les sondages spatiaux constituent une méthode encore relativement peu employée en statistique, surtout en démographie où l'usage est de tirer des échantillons de ménages ou d'individus sur des listes. L'essentiel de l'expérience en la matière relève de la statistique agricole et forestière : les Etats-Unis sont les plus grands utilisateurs de ces techniques et ont développé la plupart des méthodes existant dans ce domaine (HOUSEMAN, 1975).

En France, nous pourrions nous appuyer sur l'expérience de SCEES (1), qui pratique les sondages spatiaux ponctuels pour l'enquête TER UTI, et a déjà obtenu des résultats sur l'intégration de la télédétection dans le système de production de statistiques agricoles en développant des méthodes de sondages aérolaires.

Les résultats acquis par les géologues peuvent également nous être utiles : ils ont donné lieu à des tentatives de théorisation des statistiques spatiales. Quant aux travaux des forestiers, ils méritent d'être signalés, étant donné la relative similitude des milieux forestiers et urbains du point de vue de la taille et de l'hétérogénéité des éléments constitutants.

Après ce rapide tour d'horizon, il apparaît clairement que si notre projet, dans son acception précise, est tout à fait novateur, les domaines auxquels il fait appel disposent d'un acquis méthodologique appréciable, directement utilisable ou à transposer.

5. LE PROGRAMME DE RECHERCHES A L'ORSTOM

L'objectif assigné à ce programme de recherches est de mettre au point et tester la validité de systèmes d'observation permanents de la population urbaine, intégrant l'information satellitaire sur la morphologie urbaine.

La réalisation de cet objectif implique des travaux dans quatre directions :

- 1) L'interprétation des images satellites à haute résolution en milieu urbain : définir quelles sont les informations contenues dans ces images et développer des traitements permettant une bonne extraction de ces informations relatives aux caractéristiques morphologiques du tissu urbain.

L'utilisation d'images satellitaires en milieu urbain nécessite une phase préalable d'études de fiabilité du document (que détecte-t-on sur l'image ?) et de mise au point des méthodes d'analyse. A côté des méthodes déjà opérationnelles basées sur la valeur radiométrique du pixel devront nécessairement être développées des méthodes basées sur des analyses de texture et de structure ; elles auraient pour objectif de décrire et mesurer l'hétérogénéité des pixels et leur organisation.

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

2) Les relations bâti/population et les sondages spatiaux en démographie urbaine

Cette seconde direction de recherche a pour objectif de définir comment utiliser l'information relative à la morphologie d'une ville pour appréhender la population qui y réside. Cet objectif implique de savoir répondre à deux questions :

1. Quels sont les critères morphologiques pertinents pour l'observation démographique, et quelle est la nature de la liaison entre données démographiques et morphologiques.
2. Quelle stratégie de sondage est la plus efficace pour la collecte de données démographiques en milieu urbain.

La solution à ces deux problèmes sera recherchée dans la mise en relation des données démographiques et morphologiques intégrées dans une base de données localisées. Le recours aux différentes possibilités de traitement du système d'information géographique mis au point par l'Unité d'Infographie de l'ORSTOM visera à déterminer :

- les critères morphologiques révélant directement les phénomènes démographiques (ex. : dynamique migratoire),
- les critères morphologiques efficaces pour établir la stratification spatiale d'une ville, dans le cadre d'une enquête démographique par sondage,
- la taille et le nombre de strates qui optimisent le gain de précision de la stratification,
- la définition des unités spatiales à enquêter (forme, taille, caractère ouvert ou non des segments),
- le mode de tirage de l'échantillon (aléatoire ou systématique, fréquence spatiale).

3) L'intégration des données de télédétection dans des bases de données localisées, visant une observation suivie et spatialisée des villes dans leurs différentes composantes.

Ce troisième axe de recherche repose sur un double constat :

1. Les connaissances actuelles en interprétation d'image satellite en milieu urbain étant très limitées, les confrontations spatiales avec les autres données précises de la base faciliteront l'extraction de l'information fournie par les images et la validation des méthodes d'interprétation.

2. Outre les apports mutuels de la télédétection et d'une base de données localisées signalés plus haut qui ont une portée tout à fait générale, il faut souligner un aspect spécifique à l'application démographique visée dans notre projet : la multiplication des possibilités de mise en relation de données démographiques et morphologiques localisées par le système d'information géographique ne peut que contribuer à améliorer largement la mise au point d'un système d'observation démographique reposant sur la connaissance de la morphologie urbaine (détermination des critères morphologiques pertinents, caractérisation des liaisons statistiques).

Depuis 1983, l'Unité d'Infographie de l'ORSTOM travaille à l'élaboration d'un système d'information géographique. Le système est organisé suivant le schéma des systèmes de gestion de base de données relationnelles, enrichi de possibilités de manipulation graphique grâce à des opérations algébriques nouvelles. De par sa conception, ce système permet de mettre en relation et réaliser des traitements divers sur des données localisées (sélection, croisement, calculs statistiques... etc.), en respectant leur localisation initiale, et non simplement de comparer ces données en imposant un mode d'implantation spatiale (maillage, ou découpage unique de l'espace).

Il s'agira donc d'adjoindre au système existant des modules spécifiques pour la télédétection.

4) La télédétection comme système autonome d'observation démographique

Outre l'utilisation "*statistique*" de la télédétection, pour l'établissement de la base de sondage et du plan de sondage d'une enquête, il peut être envisagé une lecture directe sur l'image de phénomènes de nature démographique : la télédétection, dans ce cas, n'intervient plus comme élément d'un système d'observation articulé autour d'une enquête au sol par sondage, mais constitue un système d'observation autonome par rapport aux méthodes de la démographie (1).

D'une part, certains phénomènes démographiques ont une traduction physique immédiate. L'analyse des formes et des structures, et, de manière générale, des changements internes à la ville ou à sa périphérie, sur les documents de télédétection peut permettre l'évaluation directe d'un certain nombre d'indicateurs qualitatifs de la croissance urbaine. Ainsi, l'observation répétée, permise par la télédétection, de "*points sensibles*" de la ville, tels que les fronts d'urbanisation et les zones d'installation privilégiée des arrivants, peut permettre de suivre le rythme de l'immigration urbaine, et d'analyser certains phénomènes tels que la paupérisation liée à la densification extrême de certains quartiers.

D'autre part, l'évolution des formes d'occupation de l'espace est une des dimensions de la croissance urbaine (passage du milieu rural au milieu urbain, évolution morphologique de l'espace urbain) et devrait donc être prise en considération dans toute analyse démographique de la dynamique urbaine. Dans ce cadre, l'utilisation des images satellite pour déterminer les limites de la ville et suivre l'évolution des phénomènes urbains grâce à la continuité des observations paraît une voie de recherche prometteuse ; les quelques expériences réalisées dans ce domaine en témoignent (voir, par exemple, JENSEN, 1979).

(1) Il faut toutefois bien garder présent à l'esprit que l'interprétation d'une image satellite nécessite le recours à des vérités-terrain ; la télédétection ne peut donc être considérée comme un système d'observation autonome, stricto sensu.

- Le choix des sites du programme

Deux éléments doivent être distingués :

- le domaine géographique d'application du système d'observation sur lequel doit déboucher ce projet,
- les zones géographiques adéquates pour les travaux de recherche.

- Pour réaliser les travaux correspondant aux quatre axes de recherche précités, le site doit remplir quelques conditions essentielles :

- disposer d'une image satellite à haute résolution,
- avoir fait l'objet d'un recensement exhaustif récent, disponible à un niveau géographique fin (îlot), afin de pouvoir tester la fiabilité des estimations démographiques issues de notre système d'observation,
- posséder un maximum d'informations localisées sur la morphologie urbaine (photographies aériennes, cartes d'occupation du sol, fichiers d'équipement...).

Seules ces conditions permettront de calibrer l'information fournie par la télédétection, de développer les méthodes de traitement et d'analyse d'images satellites performants, et d'élaborer une stratégie d'exploitation et de sondage pour produire des données démographiques à l'aide des informations extraites des images.

Vu la rareté actuelle des images satellites à haute résolution, peu de villes des PVD correspondent aux critères précités. La ville de Quito (Equateur) deviendra notre site de recherche, dès qu'une image aura été enregistrée. Ce site est tout à fait propice à la réalisation de ce projet : recensement de 1982 disponible au niveau de l'îlot, couvertures aériennes récentes, milieu urbain bien connu, bénéficiant d'une accumulation de données dans le cadre de l'atlas urbain de Quito (projet ORSTOM/Equateur démarrant en 1985).

En attendant de disposer d'une image sur Quito, nous débutons depuis janvier 1985 nos travaux sur la ville de Marseille qui remplit d'ores et déjà toutes ces conditions ; nous possédons une image Thematic Mapper sur cette ville, qui sert donc de base à nos travaux.

S'il est nécessaire dans une phase de développement méthodologique, de réaliser les recherches sur un site disposant de nombreuses informations localisées intégrées dans une base de données, le champ d'application visé par notre projet est en fait l'ensemble des villes des PVD ne disposant que de très peu de données. C'est justement pour répondre à cette carence (état le plus courant dans les villes du Tiers-Monde) que nous cherchons à élaborer un système d'observation reposant largement sur la télédétection, afin de produire des données démographiques rapidement et à un moindre coût.

Les quatre directions de recherche exposées ci-dessus seront donc menées en parallèle (leurs résultats se conditionnant mutuellement) sur Marseille, puis sur Quito. Les travaux sur Marseille s'appuieront entièrement sur les données démographiques du recensement de 1982 ; ce dernier sera utilisé pour remplacer l'enquête-terrain sur échantillon aréolaire, et comme référence exhaustive pour calculer le degré de précision des résultats obtenus en faisant varier les différents paramètres du plan de sondage. Sur la ville de Quito, on procèdera, en collaboration avec nos partenaires équatoriens, à une expérimentation en vraie grandeur du système d'actualisation des données démographiques, avec enquête au sol par sondage spatial, dont le plan sera issu d'une stratification de la ville sur image satellite.

6. LES REPERCUSSIONS D'UNE RECHERCHE METHODOLOGIQUE

Nous avons jusqu'à présent envisagé l'utilisation de la télédétection en démographie comme un des éléments de solution pour créer des données qui font de plus en plus défaut dans les villes à croissance rapide des pays en développement. Mais il nous semble important de s'interroger dès maintenant sur les répercussions que peut avoir le développement d'une nouvelle méthode de collecte de données démographiques intégrant l'information spatialisée sur les caractéristiques morphologiques du milieu urbain.

Indicateurs, concepts et problématique sont étroitement liés à la méthode de collecte des données, que ce soit en démographie ou dans une autre discipline. Quelques exemples permettent de saisir l'impact de l'usage éventuel de la télédétection en démographie urbaine :

- Au niveau des définitions : la définition du milieu urbain, et la détermination des limites spatiales des localités considérées comme urbaines posent problème dans tous les pays, et plus particulièrement dans ceux où les activités agricoles tiennent une place importante en ville. Le recours aux images satellites favorise les critères morphologiques de définition des limites urbain/rural, dans un sens quelque peu différent de celui induit par l'usage des photographies aériennes : ainsi, ce n'est plus la distance entre bâtiments (critère utilisé, par exemple, par l'I.N.S.E.E. en France) qui est lisible sur le document satellitaire, mais le taux de bâti par unité de surface. Ce ne peut donc être que cette dernière notion qui peut être intégrée dans la définition des zones urbaines sur image satellite ; d'où une remise en cause des définitions habituelles.
- Au niveau des indicateurs : nous avons vu au point 5 de cette communication que l'analyse des formes et des structures et, de manière plus générale, les changements morphologiques internes à la ville ou à sa périphérie, peut permettre l'évaluation directe sur image satellite d'indicateurs qualitatifs

de la croissance urbaine dans des domaines tels que : l'immigration, la paupérisation liée à une sur-densification de certains quartiers, l'évolution de la stratification sociale perçue à travers les types d'habitat (différenciation ou homogénéisation) ... etc.

- Au niveau de la problématique : l'usage de la télédétection pour l'observation des populations urbaines introduit l'espace soit comme vecteur de l'observation (stratégie de sondage spatial), soit comme objet d'observation (suivi de l'évolution des formes d'occupation de l'espace comme 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 de la croissance d'une ville : la prise en compte de la variable "types d'habitat" pour appréhender les comportements démographiques des différents groupes sociaux résidant en ville est inhérente aux systèmes d'enquête dont le plan du sondage est issu de l'information fournie par la télédétection aérienne ou spatiale.

A une autre échelle, faciliter l'évaluation répétée des effectifs de population des villes en se basant sur la taille de la "tache urbaine" favorise les recherches sur la dynamique démographique des armatures urbaines, centrées sur l'analyse systémique des tailles de villes.

Ces quelques exemples ne couvrent pas l'ensemble des répercussions que peut avoir une nouvelle méthode de collecte sur les définitions, indicateurs et problématique de l'analyse démographique en milieu urbain, mais nous en font percevoir l'ampleur : non seulement ces répercussions sont inévitables, mais elles nous paraissent profitables dans la mesure où elles donnent à la problématique population-espace une place de choix. De plus, l'allègement de l'échantillon enquêté au sol, visé par la stratification spatiale sur image satellite, a pour corollaire de permettre une observation démographique plus fouillée des individus composant l'échantillon : allier le "qualitatif" et le "quantitatif", que l'on oppose trop souvent, constitue une de nos préoccupations dans ce programme de recherches, qui ne prétend aucunement déboucher sur une méthode de collecte idéale, mais plutôt explorer une des voies d'amélioration possible de la collecte des données relatives aux populations des villes du Tiers-Monde.

BIBLIOGRAPHIE

- BRUGIONI D.A., 1983.- *"The Census : It can be done more accurately with space-age technology"*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 49, n°9, pp. 1337-1339.
- C.N.R.S., 1982.- *"Débats des journées de télédétection en milieu urbain"* 6-7 mai 1982. Paris, Centre d'Etudes et de Réalisations Cartographiques et Géographiques (CERG), 141 p.
- DUREAU F. et GUILLAUME A., 1984.- *"La démographie depuis l'espace : un nouveau système d'observation ?"* Paris, STATECO, n° 38, pp. 5-46.
- HOUSEMAN E., 1975.- *"Area frame sampling in agriculture"*. Statistical Reporting Service United States of Department of Agriculture, Washington, D.C. 20250 november 1975, 79 p.
- I.A.U.R.I.F., R.O.C., S.I.D.A.U., S.E.E., 1983.- *"Les données urbaines. Système permanent de production rapide et économique. Recherche et Synthèse"*. Paris, 82 p. + plans et tabl.
- JENSEN J.R., 1979.- *"Spectral and textural features of classity elusive land cover at the urban fringe."* Professional Geographer, vol. 31, n° 4, pp. 400-409.
- LO C.P., et WELCH R., 1977.- *"Chinese urban population estimates"*. Annals of the Association for American Geographers, vol. 67, n° 2, pp. 246-250.
- MORROW-JONES H.A. et WATKINS J.F., 1984.- *"Remote sensing technology and the U.S. Census"*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 50, n° 2, pp. 229-232.
- REEVES R.G., 1984.- *"Manual of remote sensing"*. American Society of Photogrammetry, Falls Church, 2 vol.
- VERNIERE M., 1978.- *"Méthode d'analyse quantitative de la croissance urbaine dans l'espace et dans le temps. Exemple d'une banlieue de Dakar (Sénégal)"*. Photo interprétation, n°1, Paris, pp. 34-55.

B1
85
FLO

F1

~~R. GENTREAU~~

CEPED
CENTRE FRANÇAIS SUR LA POPULATION
ET LE DÉVELOPPEMENT
15, rue de l'École-de-Médecine
75270 PARIS CEDEX 06
Tél. (1) 46 33 99 41

1085

10386 → 10399

CONTRIBUTION DES DÉMOGRAPHES
DE L'ORSTOM
AU XXe CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA POPULATION
DE L'UNION INTERNATIONALE POUR L'ÉTUDE
SCIENTIFIQUE DE LA POPULATION

FLORENCE 1985 - 5-12 JUIN

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 37796 *ck 1*
Cote : 8