

F 13 G. Lyon, juin 1987

**TELEDETECTION ET SYSTEME D INFORMATION GEOGRAPHIQUE**  
**Application au suivi de la morphologie et de la démographie d'une ville.**

F. Dureau, B. Lortic, A. Michel, M. Souris

Orstom  
70-74 Route d'Aulnay 93140 BONDY

**RESUME :** L'intégration de données géographiques localisées et de données satellitaires favorise l'émergence de nouvelles méthodes d'analyse en télédétection. Classiquement, l'analyse des données de télédétection s'effectue soit sur toute l'image, soit sur un échantillon de l'image par tirage systématique, soit sur des portions d'image constituant des zones d'entraînement dont les limites sont sans rapport avec le contenu de la zone elle-même. Le fait de caractériser le pixel par son appartenance à une zone géographique nous ouvre de nouvelles voies d'investigation pour l'analyse des images. A l'inverse, les données issues de traitement des images satellitaires pourront être intégrées et comparées à l'ensemble de l'information déjà disponible dans la base de données géographiques.

**ABSTRACT:** Integration of spatial geographic datas and remote sensing datas lead new methods in remote sensing image analysis. Usually, image analysis in remote sensing deal either with entire image or sample of image, or portions of image (training areas) whose boundaries are whitout connection with its content. Characterizing the pixel by its belonging to a geographic zone open new possibilities of investigation for image analysis. Conversely, the datas issued from remote sensing image processing will be integreted and compared with all the information of the geographic data base.

**Pourquoi intégrer information géographique et télédétection ?**

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). Les satellites renseignent de manière continue sur l'occupation du sol en milieu urbain : il s'agit, dans la méthode que nous développons, d'utiliser cette information

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

N° :

B 2414 M

Cpte :

es 1 23

exhaustive sur la morphologie urbaine pour recueillir rapidement, par sondage, des données relatives aux populations urbaines. Une meilleure connaissance de l'espace urbain grâce à l'information apportée par les images satellitaires 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 stratification sur la morphologie urbaine, et pour l'obtention de résultats localisés, selon un découpage significatif de la ville enquêtée.

Nous envisageons de mettre au point un système d'observation intégrant la télédétection spatiale pour produire des données démographiques spatialisées en milieu urbain. Nous menons pour cela des travaux approfondis dans deux directions principales (voir §3) :

- 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.

L'utilisation d'un système d'information géographique est fondamentale dans cette phase de mise au point du système d'observation démographique : 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'information privilégiée pour l'actualisation des données d'un observatoire urbain gérées par un système d'information géographique.

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.

### 1. Les données et les systèmes de traitements.

Les travaux à réaliser reposent sur des informations de plusieurs types différents :

- données statistiques localisées (recensements, ...)
- données géographiques (cartes existantes, interprétation de photographies aériennes, données administratives localisées...)
- images satellitaires.

Pour traiter cette information, nous disposons de deux systèmes complémentaires :

a) le système d'information géographique développé par le laboratoire d'Infographie de l'Orstom (TIGER™) qui permet de conserver et de manipuler les données géographiques zonales, linéaires ou ponctuelles. Ses principales fonctionnalités sont :

- saisie graphique par digitaliseur, saisie des variables descriptives
- intégration de données satellitaires

- choix de la projection géographique de travail
- fenestration (sélection d'une zone de travail)
- recherches thématiques et multithématiques
- croisement de données sur des critères spatiaux ou algébriques
- cartographie des résultats
- calculs sur les variables (statistiques, ...)
- calculs métriques (surfaces, périmètres)

b) l'unité de traitement des images satellitaires de Bondy

Si le système TIGER™ se présente comme un logiciel intégré, l'Atelier de télédétection de l'Orstom Bondy (ATO) a développé un ensemble de programmes réalisant les principaux traitements sur les images satellitaires :

- visualisation couleur par composition
- analyse statistique
- classification supervisée ou non
- sorties graphiques et cartographie.

### 2. L'intégration des données.

L'idée principale consiste à pouvoir traiter indifféremment données de télédétection et données géographiques, à pouvoir les comparer et les croiser pour les analyser et créer de nouvelles données localisées. Par exemple, la classification d'une image en fonction de la radiométrie doit pouvoir utiliser la variable occupation du sol pour chaque pixel, cette valeur provenant d'une information stockée dans la base de données. Cela signifie que l'on doit pouvoir affecter cette valeur à chaque pixel de l'image satellitaire. De même, la valeur d'un indice de la radiométrie d'une parcelle agricole doit pouvoir être comparée à la production de cette parcelle, et donc intégrée comme nouvelle variable sur cette parcelle.

Pour permettre un croisement par la localisation, il est nécessaire de connaître et de pouvoir modifier les différents paramètres liés à cette localisation : projection géographique, espace d'étude, précision et taille du pixel. L'image satellitaire doit donc être localisée avec précision, et recalée suivant une projection connue, de manière à pouvoir en extraire une matrice de pixels dont on connaît la taille et la localisation. Le système de gestion des données géographiques doit permettre de s'adapter aux paramètres de l'image satellitaire par le choix de la projection géographique, de la fenêtre de travail et de la résolution spatiale des images qu'il engendre. Ces choix sont rendus possible par le passage interactif d'une structure vectorielle à une structure matricielle dans le système TIGER™.

### 3. Application à l'étude de la démographie sur Marseille.

Deux hypothèses centrales sous-tendent ce programme :

a) Il existe des relations étroites entre les caractéristiques morphologiques du milieu urbain, et les caractéristiques démographiques et socio-économiques des habitants.

b) On peut identifier sur les images satellitaires de type SPOT ou THEMATIC MAPPER les caractéristiques morphologiques pertinentes pour l'observation démographique en ville.

Le programme de recherche est mené depuis 1985 sur la ville de Marseille, qui possédait dès cette date les 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. L'utilisation d'un système d'information géographique est fondamentale dans cette phase de mise au point du système d'observation démographique : 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. A travers quelques exemples tirés de l'expérience sur Marseille, nous verrons dans une première partie ce qu'apporte le système TIGER™ pour le développement de méthodes et leur vérification. 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'information privilégiée pour l'actualisation des données d'un observatoire urbain géré par un système d'information géographique.

### 3.1 L'utilisation d'un système d'information géographique pour l'étude de la démographie sur la ville de Marseille.

La zone d'étude a été déterminée de manière à couvrir les différents types de quartiers de Marseille, soit schématiquement : les quartiers industriels et de grands ensembles ouvriers du nord, les quartiers résidentiels du sud, le vieux centre, et les zones pavillonnaires de l'est de la commune.

Dans cette première phase du programme de recherches, purement méthodologique, les travaux réalisés reposent sur trois types d'information, quasi-concomitante :

- données démographiques issues du recensement de mars 1982
- caractéristiques morphologiques observées sur photographies aériennes à grande échelle et au sol (août 1982)
- image satellite Thematic Mapper (février 1983).

L'ensemble de ces informations, connues sur toute la zone d'étude, sont intégrées dans une base de données gérée par le système d'information géographique TIGER ; ainsi, nous trouvons dans une situation d'expérimentation quasi-idéale, en pouvant croiser toutes les données localisées, chacune étant conservée dans son propre mode d'implantation spatiale. Notons qu'à Marseille, il n'est pas réalisé de collecte de données démographiques d'après un sondage aréolaire bâti sur image satellite. Le recensement de 1982 est utilisé de deux façons : par sondage, pour modéliser les relations bâti/population et simuler l'enquête démographique sur échantillon aréolaire, et exhaustivement, comme référence pour mesurer le degré de précision des résultats obtenus en mettant en oeuvre différentes stratégies de sondage.

Si la base de données concerne l'ensemble de la zone délimitée sur la Figure 1, tous les travaux méthodologiques ne sont pas réalisés sur l'intégralité de cet espace. En effet, il est nécessaire d'en extraire un échantillon pour la mise au point de méthodes comme celles relatives à l'interprétation d'image satellite : si l'on ne procédait pas ainsi, on ne pourrait

pas vérifier la validité des traitements mis au point, c'est à dire tester qualitativement et quantitativement leur efficacité. Travailler sur un échantillon permet de contrôler en permanence les méthodes développées, en les testant sur un espace disposant d'une information de référence, les données de population et de morphologie urbaine dans le cas présent.

Pour que cette méthode de travail soit vraiment efficace, il importe de disposer d'un échantillon représentatif des différents types d'occupation du sol présents dans l'ensemble de la zone : c'est à cet effet qu'est réalisée une typologie de la morphologie urbaine, d'après l'information observée sur photographie aérienne et contrôlée au sol.

### 3.2 Mise en relation de l'information satellitaire et des données sur la morphologie urbaine.

En raison de la résolution insuffisante des images LANDSAT MSS, seules disponibles jusqu'à ces dernières années, la télédétection est restée très peu employée en milieu urbain, caractérisée par une forte hétérogénéité et la faible taille des éléments constitutifs : l'analyse précise de l'information apportée par les capteurs à haute résolution comme Thematic Mapper et SPOT, et les méthodes d'extraction de cette information n'en sont qu'à leurs débuts.

Dans l'état actuel de la télédétection en milieu urbain, il est primordial de pouvoir confronter spatialement les données satellitaires avec les données de la base sur la morphologie urbaine issues, dans le cas de Marseille, d'observations terrain et de photographies aériennes à grande échelle.

En effet, la mise en relation avec les données localisées gérées par le système d'information géographique s'avère nécessaire à plusieurs niveaux :

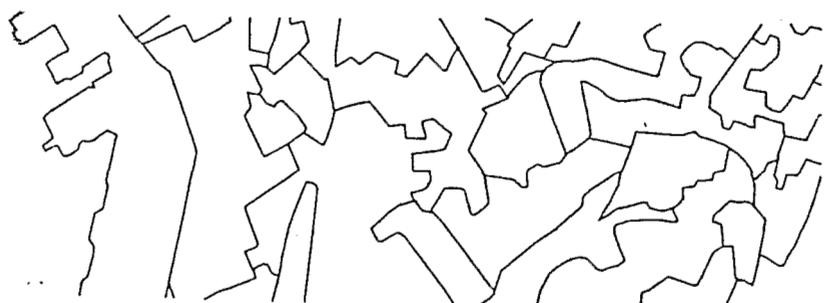
- sélection d'un échantillon spatial de l'image représentatif des types morphologiques présents dans la zone d'étude,
- confrontation avec les références de terrain relevées sur cet échantillon, pour développer des méthodes d'interprétation de l'image satellite,
- confrontation avec les données morphologiques connues sur l'ensemble de la zone d'étude afin d'évaluer précisément les résultats obtenus en appliquant les méthodes d'interprétation mises au point sur l'échantillon,
- test de la qualité géographique des recalages d'image satellite, en comparant les images recalées aux données digitalisées à grande échelle.

A l'heure actuelle, étant donné la complexité du milieu étudié et l'état des connaissances en télédétection urbaine, ne pas recourir à une base de données gérée par un système d'information géographique limiterait sérieusement les interprétations de l'image satellite, tant sur le plan thématique que sur le plan spatial. De plus, comme l'écrit justement A. BALLUT à propos de la télédétection urbaine, le fait de prendre en compte la localisation peut constituer un atout important : "Il faudrait, dans les algorithmes de traitement, faire intervenir des notions relatives à la répartition géographique". L'intégration des données de télédétection dans un système d'information géographique tel que celui développé à l'ORSTOM favorise les recherches dans cette direction, pour la mise au point de méthodes de classification en télédétection intégrant la localisation ; de même, la

Figure 1 - L'implantation géographique des trois types de données à intégrer dans la base de données sur Marseille.



Decoupage INSEE en districts de recensement. 0 250 500 m



Zonage morphologique. 0 250 500 m



Image Tematic Mapper. 0 250 500 m

localisation peut constituer un paramètre discriminant d'un point de vue démographique, au même titre que des variables décrivant la morphologie urbaine.

### 3.3 Mise en relation des données démographiques et des données sur la morphologie urbaine

La mise au point d'un système d'observation démographique intégrant l'information satellitaire suppose de répondre à un certain nombre de questions :

- Quels sont les critères morphologiques pertinents pour établir la stratification spatiale d'une ville en vue d'une enquête démographique par sondage, et quels sont les critères révélant directement des phénomènes démographiques (tels que la dynamique migratoire, par exemple) ?
- Quelle est la stratégie de sondage la plus efficace ? Ce qui suppose de définir la taille et le nombre de strates qui maximisent le gain de précision, le type d'unité spatiale à enquêter, le mode de tirage de l'échantillon (aléatoire ou systématique, selon quelle fréquence spatiale) et l'estimateur à utiliser.

Pour apporter des éléments de réponse à ces questions, il est nécessaire de mettre en relation et traiter conjointement des données démographiques et morphologiques localisées, c'est-à-dire de réaliser principalement :

- le croisement entres données démographiques et morphologiques, afin de connaître la répartition de la morphologie selon le découpage géographique des données démographiques, et inversement. Cette information sert, notamment, à tirer un échantillon de districts INSEE représentatif des types morphologiques et à étudier les relations bâti/population par des méthodes d'ajustement,
- des sélections et statistiques spatiales selon les modalités des attributs morphologiques ou démographiques,
- une étude du mode d'implantation spatiale des données afin de déterminer quelles hypothèses peuvent être faites sur leur répartition dans l'espace et donc quelles sont les méthodes d'échantillonnage à tester,
- une évaluation spatialisée et quantifiée des résultats obtenus en simulant différentes stratégies de sondage.

De façon parallèle à la démarche adoptée en télédétection urbaine, les critères morphologiques sont testés analytiquement comme critères de stratification, qui eux seuls peuvent être identifiés sur toute ville.

### 3.4 Télédétection urbaine

En matière de télédétection urbaine, les premiers résultats obtenus dans le cadre du programme de recherche concernent :

- le test de la qualité géométrique des images recalées géographiquement avec et sans modèle numérique de terrain (niveaux 2 et 3 des recalages réalisés par l'IGN);
- la mise au point d'une méthodologie de collecte d'informations sur la morphologie urbaine servant de références de terrain pour l'interprétation des images satellitaires. Propre au milieu urbain, et répondant à ses caractéristiques particulières d'occupation du

soi, cette méthode, mise au point à Marseille, a été appliquée en octobre-novembre 1986 sur la ville de Quito :

- l'analyse statistique descriptive des données spectrales de l'image TM
- la mise au point de méthodes d'extraction sur image satellite TM de

l'information relative à la densité du bâti.

Le dernier point cité est au centre de notre programme de recherche. Après avoir rappelé brièvement les caractéristiques statistiques de l'image TM (Marseille, février 1983), nous présentons, à titre démonstratif plus que pour l'intérêt des résultats exposés, la méthode de travail adoptée pour la mise au point des méthodes de télédétection et quelques uns des premiers résultats auxquels elle a donné lieu.

La première phase du travail a consisté à étudier les caractéristiques radiométriques pour chacune des 6 modalités de la densité du bâti : cette analyse statistique de la radiométrie en fonction de la densité du bâti a été rendue possible en générant, par une interrogation de la base sur l'attribut "densité du bâti", une image aux caractéristiques spatiales compatibles avec celles de l'image TM. Connaissant pour chaque pixel de l'image ses valeurs dans les 6 canaux TM et son niveau de densité du bâti, on peut rechercher dans de bonnes conditions les canaux, les combinaisons de canaux et les opérateurs spatiaux les plus efficaces pour discriminer les différents degrés de densité du bâti.

Dans un deuxième temps, le travail s'est poursuivi sur l'échantillon de 80 îlots, tiré par sondage stratifié sur les types morphologiques parmi les 3534 îlots de la zone d'étude. Une enquête réalisée à Marseille en juin 1986 a permis de compléter les données morphologiques recueillies sur la mosaïque de photographies aériennes : actualisation de l'information aérienne à la date d'enregistrement de l'image TM (février 1983), calage des données observées sur photographies aériennes avec les références terrain (précisions sur la hauteur des bâtiments, la nature des toitures...etc). Grâce à cette collecte de données sur le terrain, accompagnée de l'exploitation de photographies aériennes à très grande échelle (1/8000), couleurs naturelles), il est possible de travailler plus précisément que sur l'ensemble de la zone d'étude, en utilisant des méthodes de traitement de données quantitatives (corrélations notamment) : c'est donc de cette façon que s'est poursuivi le travail de mise au point de méthodes d'extraction d'information sur image satellite, les descripteurs morphologiques connus sur l'ensemble de la base servant pour tester la validité des méthodes mises au point sur échantillon.

Un élément important dans cette deuxième phase de la recherche est de caractériser un pixel non seulement par son niveau de densité, mais aussi par son appartenance à un îlot donné de l'échantillon : de la sorte, on ne raisonne plus par pixel ou ensembles de pixels dont la définition est sans rapport direct avec le contenu de la zone, mais par zones définies d'après leur contenu. Cette approche, nouvelle en télédétection, permet de relier précisément radiométrie et occupation du sol et facilite les travaux sur la texture, au sein de zones correspondant à une réalité géographique, où la notion d'agencement peut être appréhendée de façon précise.

#### 4. En conclusion, de nouvelles perspectives en télédétection.

L'utilisation du système TIGER™ permet une meilleure perception de la réalité de la zone de collecte, car les attributs des objets étudiés y sont définis par rapport à leur localisation réelle. Les valeurs numériques traitées en télédétection apparaissent par contre comme une densité radiométrique sur la surface d'un pixel, zone arbitraire qui, n'ayant que rarement une composition homogène, ne correspond pas directement au phénomène étudié : le passage du pixel à une zone définie par rapport au phénomène à étudier permet un changement d'échelle qui augmente les possibilités d'analyse en télédétection spatiale.

La conjonction d'un système d'information géographique et de données de télédétection permet facilement de développer deux approches indispensables en télédétection :

- considérer le pixel par rapport à une stratification de l'espace (par exemple l'altitude, la pente, la pluviométrie...), car on sait très bien qu'une même valeur d'un indice radiométrique peut correspondre à des objets différents, et de même qu'une classe peut avoir plusieurs réponses suivant les strates considérées.

- considérer des objets prédéfinis (la maison, l'îlot, le quartier, la parcelle...) et enrichir la connaissance de ces objets par une approche contextuelle de la radiométrie (par exemple, agencement géométrique et radiométrique dans la zone, calcul de la valeur d'un indice pour la zone...).

Sortir le pixel de son ghetto radiométrique, permettre la création et l'actualisation rapide d'une cartographie thématique : telles sont les voies qui nous semblent aujourd'hui ouvertes.

#### Publication et notes de travail de l'équipe ORSTOM.

*(peuvent être consultés au département D. ORSTOM, 30 Rue de Charonne, 75011 Paris).*

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, 109 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. Application aux données démographiques en milieu urbain des pays en développement". Pris, 20 P.

BARBARY O., 1986. - Apport d'une stratification morphologique des districts INSEE de recensement dans l'estimation des effectifs de population à Marseille. Quito, 47 P.

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. et GUILLAUME A., 1985. - La population dans l'espace Télédétection et démographie des villes des pays en développement. Communication au XX<sup>e</sup> congrès

général de l'Union Internationale pour l'Etude Scientifique de la Population, Florence (Italie), 5-12 Juin 1985.

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 253-286.

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. (2 versions: française et espagnol). Quito, 19 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 satellite à haute résolution et évaluation des informations fournies par ces images" Paris 9 P.

MICHEL A., 1986. - Le point sur la télédétection urbaine en 1986 à travers la bibliographie française et anglo-saxonnne sur le sujet. Recueil des fiches de dépouillement des articles et ouvrages. ORSTOM, 49 P.

MICHEL A., 1986. - Mise au point des méthodes d'analyse des images à haute résolution: étude statistique du descripteur " densité du bâti" (image TM Marseille 1983). Paris, 44 P.

SOURIS M., 1986. - Système d'information géographique et bases de données. Paris, ORSTOM, collection Colloque et Séminaires, Numéro sur le traitement des données localisées, pp 29-87