

A. MICHEL
Allocataire MRT attaché au département D UR 406
F. DUREAU
Responsable du programme, en poste à Quito,
département D UR 406
B. LORTIC
Chercheur associé, atelier de télédétection de
l'ORSTOM à Bondy (ATOB)
M. SOURIS
Ingénieur de recherche, responsable de l'Unité
d'Infographie, Bondy.

MISE AU POINT DES MÉTHODES D'ANALYSE DES IMAGES DES SATELLITES A HAUTE RÉSOLUTION ET ÉVALUATION DES INFORMATIONS FOURNIES PAR CES IMAGES

Étude statistique du descripteur « densité du bâti ». Présentation des classifications

La communication que nous présentons ici brièvement est un résumé d'une partie du programme « Télédétection et observation suivie de la morphologie et de la démographie des villes des pays en développement » mené par le département D de l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement) en collaboration avec l'Unité d'Infographie et l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM à Bondy.

OBJECTIF

programme de recherche de l'ORSTOM (ATP CNRS/CNES).

Dans les villes des pays en développement, la croissance démographique est telle que les méthodes classiques utilisées jusqu'à présent pour estimer des effectifs de population sont inadéquates. Les coûts technique, financier et humain des recensements exhaustifs rendent prohibitifs

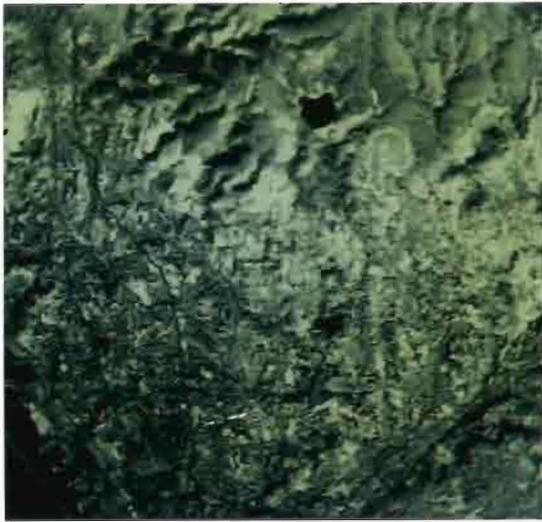
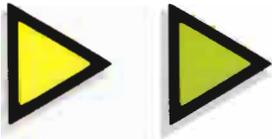


Photo 1 : Image TM Canal 4.



Photo 2 : 1^{re} composante principale.

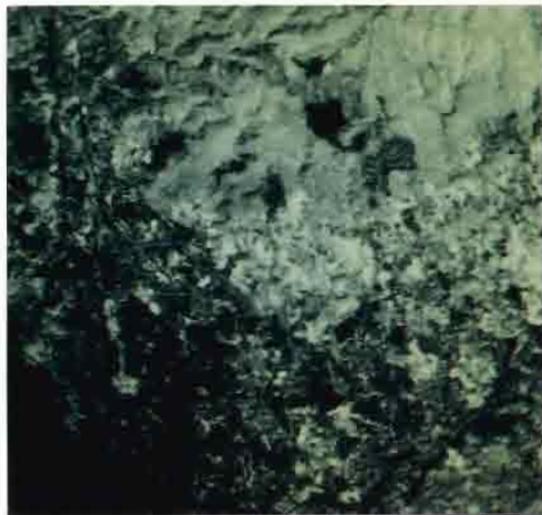


Photo 3 : Indice de végétation.

une telle opération pour une périodicité inférieure à une dizaine d'années. Quant aux enquêtes par sondage, l'absence d'une base de sondage complète et à jour hypothèque fortement leur fiabilité. Cependant, seul un système basé sur la technique des sondages peut remplir les conditions de souplesse et de rapidité nécessaires dans les villes à croissance démographique rapide. Connaître de façon approfondie la morphologie du tissu urbain permet de réaliser une **stratification de l'espace urbanisé** qui ne peut qu'améliorer le résultat d'une enquête effectuée sur une base de sondage **stratifiée** et **exhaustive**.

Les missions aériennes deviennent de plus en plus rares et onéreuses. Par contre les satellites récemment mis sur orbite délivrent des images dont la résolution spatiale est de plus en plus précise. Leur répétitivité, ainsi que la richesse des informations qu'ils enregistrent rendent leur utilisation attractive. Néanmoins, l'interprétation de ces images nouvelles en milieu urbain est plus délicate que celle des photographies aériennes auxquelles nous sommes désormais habitués.

L'objectif principal assigné au programme de recherche est de mettre au point un système d'observation permanent des populations urbaines, en intégrant l'information satellitaire sur la morphologie urbaine : suivi des effectifs et caractéristiques générales des populations et mise en œuvre de sondages spatiaux stratifiés sur image SPOT ou Thematic Mapper pour des investigations approfondies par le comportement des citoyens. La stratification sera obtenue après traitement des images Thematic Mapper ou SPOT de façon à faire apparaître les différents descripteurs de la morphologie urbaine pertinents pour une observation démographique.

Ce sont les étapes de la mise au point de cette stratification, du moins la mise en évidence du premier de ces descripteurs, la densité du bâti, que nous exposons dans cette présentation.

Problématique du travail effectué

Nous posons comme hypothèse et départ qu'**un système de relations étroites existe entre la morphologie urbaine et la démographie**.

L'axe central de notre problématique est simple : est-il possible d'extraire d'une image Landsat Thematic Mapper (résolution spatiale ou IFOV 30 mètres, résolution spectrale 7 bandes allant du visible à l'infra-rouge thermique) des informations pertinentes pour rendre compte de la morphologie urbaine, et plus particulièrement de la **densité du bâti**? Les questions qui en décou-

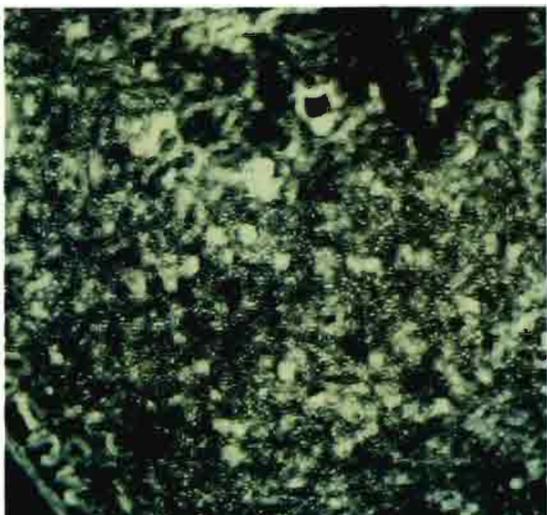


Photo 4 : Ecart type local 5x5.



Photo 5 : Densité du bâti. Ensemble de la zone.

lent immédiatement sont les suivantes :

- Quels sont les moyens les plus appropriés pour traiter les informations initiales (les valeurs du pixel dans les différents canaux) afin de mesurer la densité du bâti? Quelle méthodologie employer?
- Quels sont les paramètres spectraux ou spatiaux qui discriminent le mieux la densité du bâti?
- Comment mesurer la fiabilité des traitements développés?

C'est à toutes ces questions que nous apporterons un début de réponse au cours de cette étude.

DÉMARCHE

Justification du choix du descripteur densité du bâti.

Une analyse de la mosaïque photo-aérienne de la ville de Marseille a été réalisée. Chacune des 542 zones homogènes délimitées a été décrite à l'aide de 11 critères morphologiques. Parmi ces 11 descripteurs retenus et testés sur Marseille, celui décrivant la densité du bâti nous a semblé le plus opportun à mettre en évidence sur l'image satellite en premier lieu. En effet ce sera celui qui interviendra le plus fortement dans l'explication des variations spatiales des indicateurs démographiques. Ce descripteur caractérise l'ensemble de la zone d'étude à l'aide des 6 modalités suivantes : non bâti, très faible, faible, moyenne, forte, très forte.

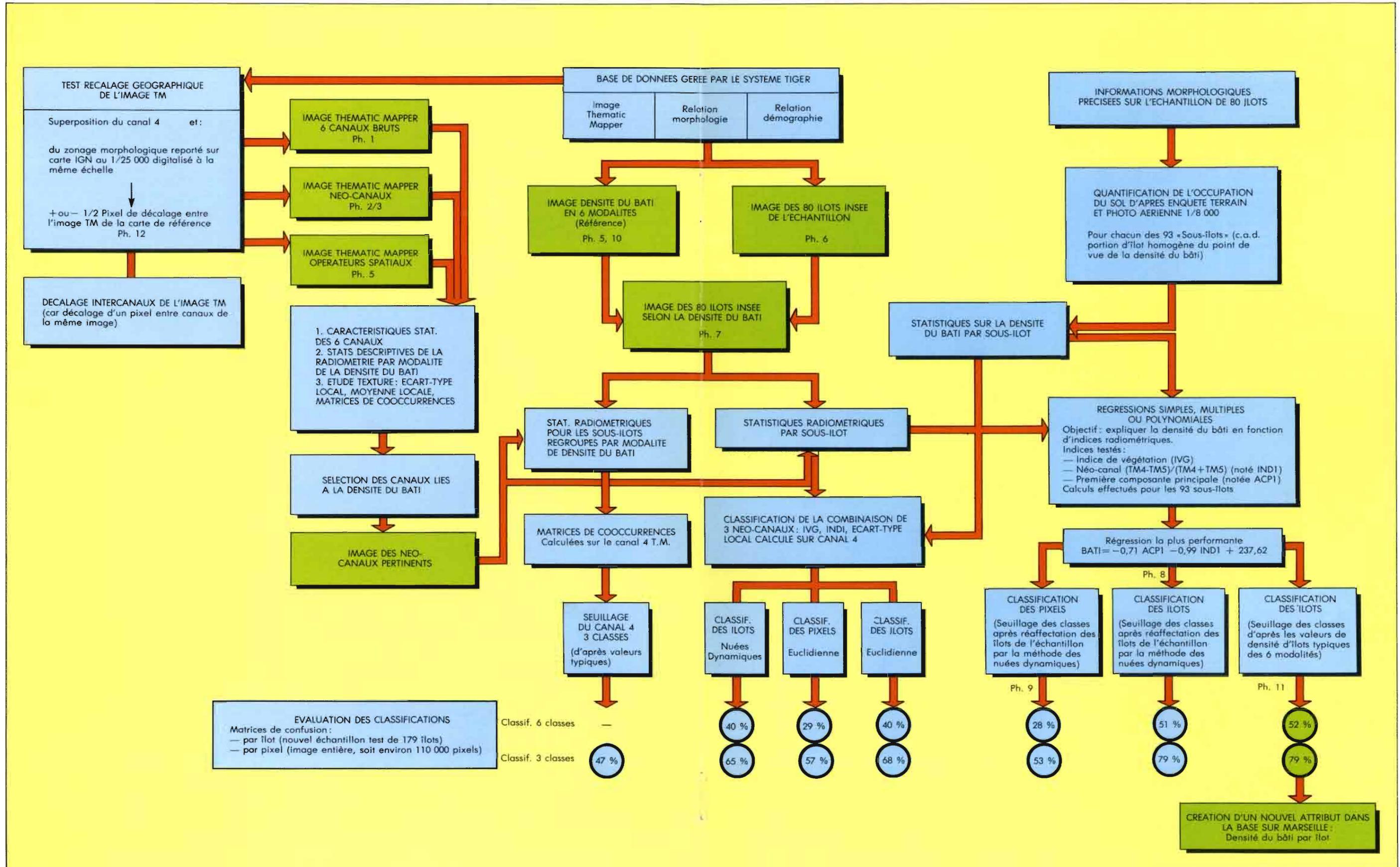
Le but de ce travail est de générer à partir d'images Landsat TM 6 canaux, une image qui rend compte de la densité du bâti observée sur mosaïque, et vérifiée sur le terrain. De façon plus pragmatique, il s'agit donc de classer les images de Landsat TM afin de se rapprocher le plus possible de l'interprétation visuelle de la densité du bâti réalisée sur la mosaïque photo-aérienne échelle 1/23 000.

Explication de la démarche suivie.

Dans un premier temps, nous avons travaillé sur un fichier image généré par Tiger(*) qui décrit la zone d'étude en fonction des 6 modalités du descripteur densité du bâti. (non bâti, très faible, faible, moyenne, fort, très fort). A chacune des différentes zones, pas nécessairement connexes, est affectée la valeur de sa modalité. Des statistiques descriptives classiques sont ensuite calculées pour chaque modalité et dans

(*) Système de gestion de base de données relationnelles développé à l'Atelier d'Infographie de l'ORSTOM. Une base de données localisées intégrant des données démographiques, morphologiques et satellitaires et pilotée par TIGER a été constituée sur Marseille.

EXTRACTION DE L'INFORMATION SUR LA DENSITÉ DU BÂTI Image Thematic Mapper de Marseille



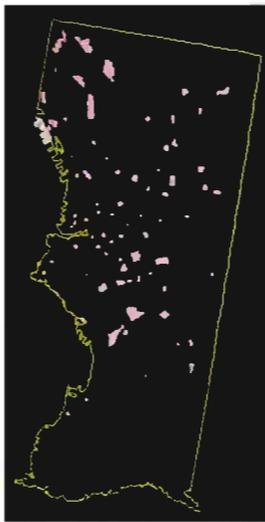
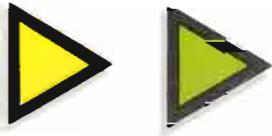


Photo 6 :
Echantillons îlots INSEE



Photo 7 : Croisement-échantillons îlots INSEE et strates.

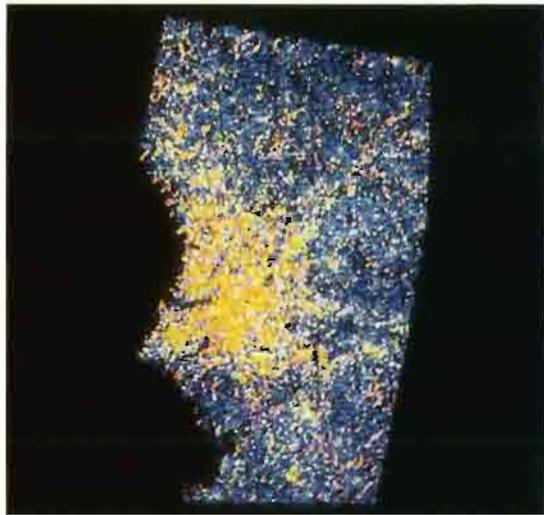


Photo 8 : régression Îlot-Bâti/ACPI, Ind. 1.

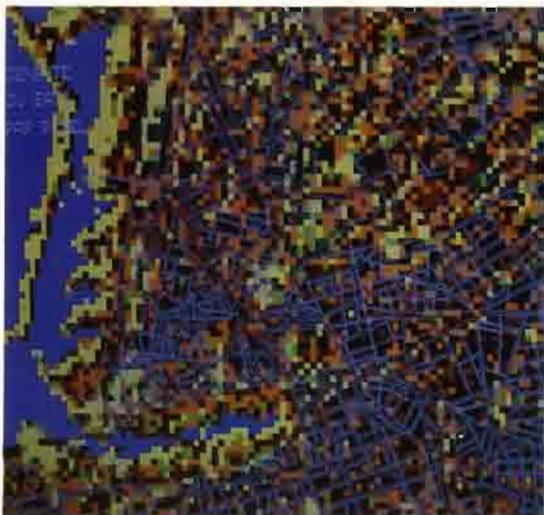


Photo 9 : Densité du bâti par Pixel, contours îlots INSEE (centre ville).

chacun des 6 canaux de Landsat Thematic Mapper. Cette première étape, de « dégrossissage », vise à déterminer les canaux, les combinaisons de canaux (indices) et les opérateurs spatiaux (indices de texture) qui apparaissent les plus discriminants. Aucun résultat statistique issu de cette partie de l'étude ne sera pris en compte pour calculer des coefficients de régression ou pour initialiser une classification. En effet, la démarche choisie consiste à initialiser le processus de classification à partir d'un échantillon (de travail) et à comparer les résultats obtenus soit à l'ensemble de la zone d'étude, soit à un autre échantillon (de vérification).

Après le tirage des 80 îlots échantillons, une nouvelle image multithématique cette fois, a été générée par Tiger, en croisant la **densité du bâti** avec **les îlots échantillons**. Dans l'image résultante l'entité n'est plus l'îlot mais le sous-îlot (portion d'îlot homogène par rapport à la densité du bâti). En effet, compte tenu de la taille de certains îlots ou de la complexité du tissu urbain, il arrive que les îlots INSEE ne soient pas entièrement compris dans des zones morphologiques de même modalité.

Une enquête sur le terrain a eu lieu en juin 1986 afin de tenir compte des éventuelles constructions ou démolitions intervenues entre la date de prise de vue des photographies aériennes et celle de l'enregistrement de l'image TM. De plus il s'est avéré nécessaire de se déplacer sur le terrain afin de pouvoir caler les informations que l'on a recueillies sur la photographie aérienne avec la réalité terrain (nature du toit, hauteur du bâti, etc.). La superficie de l'élément bâti a pu être déterminée, ainsi que le rapport (surface bâti/surface totale de l'îlot) qui est noté **coefficient de densité du bâti** dans ce texte. Ces éléments sont issus de l'analyse fine de photographies aériennes 1/8 000 couleurs naturelles sur lesquelles les îlots de l'échantillon de travail ont été détourés.

Des statistiques descriptives classiques calculées sur les indices qui nous ont paru les plus discriminants ont alors été calculés pour chaque sous-îlot de l'échantillon.

Afin de quantifier le pouvoir de discrimination des différents canaux, néo-canaux (combinaisons de canaux bruts) et opérateurs spatiaux, diverses régressions simples, multiples et polynomiales ont été tentées avec le coefficient de densité du bâti calculé précédemment. Les coefficients de régression entre moyenne radiométrique des sous-îlots et le coefficient de densité de l'espace bâti correspondant ont été calculés sur la base de l'échantillon de travail. Ces coefficients permettent de générer, sur l'ensemble de Marseille, une image de la densité de l'espace bâti à partir de valeurs radiométriques dont les valeurs

varient entre 0 et 100. La valeur du pixel indique donc une densité de l'espace bâti. Diverses algorithmes ou méthodes de classification initialisés sur l'échantillon de travail et testés sur l'ensemble de la zone ou sur un échantillon de vérification ont alors été expérimentés; une comparaison de leur fiabilité est présentée. Les individus classés sont soit des **pixels**, soit des **sous-îlots INSEE**. En télédétection, classer des zones pré-définies et non des pixels est peu courant; nous verrons en quoi cette façon de procéder améliore nos résultats.

DIFFICULTÉS ET PERSPECTIVE D'AVENIR

La conclusion principale à tirer est semble-t-il d'ordre méthodologique. **Il est plus pertinent et plus efficace de classer des zones, ici des îlots INSEE, que des pixels.** Les raisons en sont multiples.

Les différentes statistiques radiométriques ont été calculées sur des îlots INSEE, il est donc logique de classer des entités de même grandeur que celles dont on a extrait l'information. Cela est plus flagrant lorsque l'on s'intéresse aux régressions. Calculer une densité de bâti par pixel est à la limite de l'acceptable. En effet, les régressions ont été obtenues en comparant les valeurs radiométriques de différents néo-canaux avec une densité de bâti par îlot. Il est donc plus logique d'appliquer ces régressions sur les mêmes entités, c'est-à-dire les îlots, que sur des éléments de dimension inférieure (les pixels). De plus, seule une densité calculée sur une surface de taille conséquente est significative de ce paramètre.

De nombreux chercheurs travaillant sur l'interprétation d'images satellite en milieu urbain filtrent par un lissage par la moyenne les images avant classification de façon à se rapprocher le plus possible des valeurs moyennes en fonction desquelles ils ont initialisé leur classification. Cette façon de procéder, qui contribue à dégrader artificiellement la résolution spatiale de l'image s'apparente donc à un artefact qui facilite le classement de pixels de valeurs extrêmes. La résolution spatiale plus fine de TM(*) est en milieu urbain un cadeau empoisonné. En effet alors que les images générées par Landsat MSS étaient constituées d'un assemblage de pixels de valeurs relativement proches dû à un lissage lors de l'enregistrement des données, la résolution spatiale sensiblement meilleure du capteur TM

(*) par rapport à Landsat MSS.

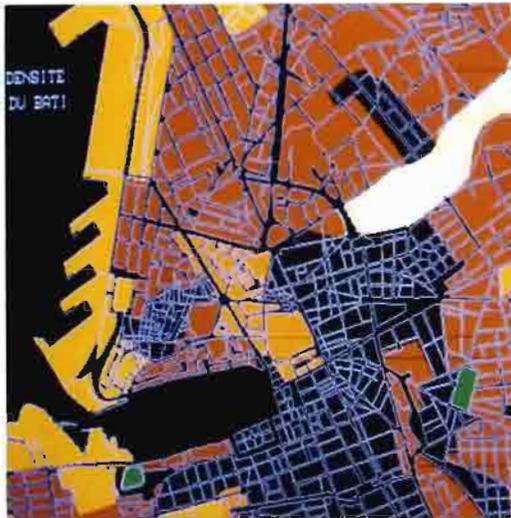


Photo 10 : Densité du bâti par îlot référence (centre ville).



Photo 11 : Densité du bâti par îlot régression 6 classes (centre ville).

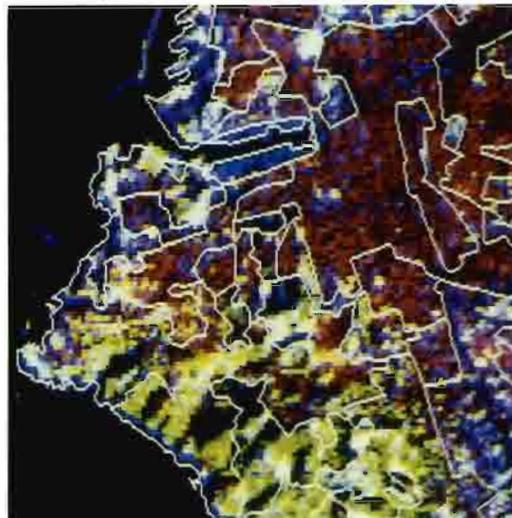
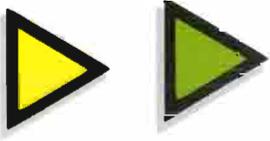


Photo 12 : Composition colorée (canaux 1, 4, 7) avec contours des strates en blanc.



permet l'**émergence d'un nouveau type de pixel jusque-là inconnu dans les villes: le pixel pur** (ou presque pur). Compte tenu de notre problématique et du type de résultat que nous désirons obtenir (une **stratification**, de l'espace urbain en fonction d'un critère bien précis), c'est paradoxalement une résolution spatiale plus grossière qui nous aurait convenu le mieux. La résolution spatiale de TM paraît inadaptée pour l'étude de la densité des villes, trop fine pour classer les pixels, mais pas suffisamment cependant pour se livrer aux joies de la photo-interprétation.

Sauf dans le centre-ville très dense et très homogène où il occupe une surface négligeable, le tissu urbain interstitiel, de part la variété de sa nature induit des valeurs radiométriques qui sont trop éloignées de celles générées par les toits des bâtiments voisins. De plus ceux-ci sont loin d'être semblables et leurs valeurs de réflectance varient sensiblement en fonction des différents matériaux utilisés. C'est ainsi que nous obtenons des classifications qui présentent l'apparence d'un semis de points multicolores là où nous voudrions voir apparaître de grandes plages de mêmes couleurs (dans le but d'obtenir une stratification de l'espace urbain).

Lisser avant ou après la classification est une opération qui entraîne une distorsion de la réalité, car elle n'est pas sélective au niveau spatial (lissage de pixels de mer avec les pixels côtiers pour prendre un exemple significatif), contrairement à une moyenne raisonnée sur une entité spatiale qui possède une réalité, ne serait-ce qu'administrative (les îlots INSEE par exemple). Il faut ajouter que plus cette entité est homogène du point de vue thématique, plus la production de la moyenne radiométrique sur cette zone se justifie. Dans notre cas les îlots INSEE, de part leur petite taille et leur relative homogénéité de contenu, se prêtent relativement bien à ce genre d'exercice.

Enfin, nous pouvons conclure que le découpage initial des modalités, obtenu par photo-interprétation d'une mosaïque 1/23 000 n'était pas adapté à la réalité statistique de la radiométrie dans le canal TM4. Il semble en être de même avec d'autres néo-canaux (indice de végétation: IVG, Canal TM4-TM5 normalisé: IND1, indice de texture: TEXT-C4) ainsi qu'avec les néo-canaux utilisés pour générer les régressions (ACPI).

Passer d'une classification de pixels à une classification de zones prédéfinies améliore les différentes classifications que nous avons effectuées de près de 100 %. Ce type de classification, pour stratifier le milieu urbain, semble être une des méthodes les plus prometteuses, même si sa fiabilité est encore loin d'être excellente.

Travailler dans l'environnement d'un système de gestion de base de données relationnelles en milieu urbain est presque une nécessité:

- pour **repérer** avec exactitude les parcelles des échantillons; ceci suppose une parfaite superposition entre l'image satellite et le fichier des îlots INSEE.
- pour **valider** les traitements de façon quantifiée et précise
- pour **intégrer** dans la base des informations élaborées à partir de la télédétection
- pour **générer** des images à partir de données numériques (fichiers INSEE de recensement), ceci suppose une parfaite connaissance des référents géographiques de l'information saisie (coordonnées géographiques, mode de projection, taille du pixel).
- pour **croiser** entre elles des données de provenances diverses (îlots de l'échantillon et densité du bâti). **La localisation des données est alors une information fondamentale;** seule clé commune, c'est elle qui permet de comparer et de croiser différentes données entre elles, avec des traitements qui conservent la pertinence spatiale des résultats.

Michel Alain, Dureau Françoise, Lortic Bernard, Souris Marc.
(1987).

Mise au point des méthodes d'analyse des images des satellites à haute résolution et évaluation des informations fournies par ces images : étude statistique du descripteur "densité du bâti". Présentation des classifications.

In : Urbanisme et télédétection satellitaire. Paris : STU ; CNES,
8 p. ISBN 2-11-081989-8