

Ex. SPOT 1 : Utilisation des images, bilan,
résultats ... Paris, nov. 1987

L UTILISATION DE LA TELEDETECTION POUR L'OBSERVATION DES POPULATIONS URBAINES.
Une recherche en cours à Quito (EQUATEUR)

Alain MICHEL (*), Jean-Michel EBERHARD (*), Bernard LORTIC (*), Françoise DUREAU (**)

(*) ORSTOM, Atelier de Télédétection, 70-74 route d'Aulnay, 93140 Bondy, FRANCE

(**) ORSTOM, Apartado Postal 6596 CCI, Quito, ECUADOR

Resume

L'objectif général assigné au programme de recherche¹ est de mettre au point un système d'observation permanent des populations urbaines utilisant l'information 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 donc, dans la méthode que nous développons, d'utiliser cette information exhaustive sur la morphologie urbaine pour recueillir rapidement, par sondage, des données relatives aux populations urbaines. Les travaux réalisés (par VERNIERE notamment) sur photographies aériennes ont montré l'efficacité de ce principe². 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,
- 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.

Abstract

The general target of the research program is to work out a permanent urban population observation system dealing with information coming from high resolution satellites (SPOT and Thematic Mapper).

Satellites inform are continuously informing us about urban land use. Our method consists of using this exhaustive information on urban morphology to quickly collect, by sample survey, urban population data. Vernier's work on aerial photographs has shown the efficacy of this principle². A better knowledge of urban areas coming from satellite pictures constitutes an important improvement in demographic sample survey systems :

- to establish a complete and updated survey base
- to optimize the survey by using urban morphologic information
- to obtain localized results according to a significant scionning of the city.

Introduction

Les axes de recherche.

Pour atteindre les objectifs fixés au programme, nous effectuons des recherches dans deux directions principales.

- l'interprétation des images satellites à haute résolution en milieu urbain,

- les relations bâti/population et les sondages spatiaux en démographie urbaine.

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 : image Thematic Mapper, photographies aériennes à grande échelle, recensement démographique disponible au niveau de l'ilot.

¹ L'équipe de l'ORSTOM, pluridisciplinaire, est composée de : O. BARBARY (statisticien), F. DUREAU (géographe-démographe, responsable du programme), B. LORTIC (télédétection), A. MICHEL (urbaniste, télédétection), I. RANNOU (télédétection) et M. SOURIS (informaticien).

² 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, pp. 34-55.

Les résultats acquis au cours de la première phase de développement méthodologique sur la ville de Marseille (FRANCE)¹

En télédétection urbaine, outre l'évaluation de la précision du recalage géographique, les travaux ont d'abord porté sur l'extraction de l'information sur la densité du bâti par zone à partir de l'image TM ; ce n'est que dans un second temps que les recherches se sont portées sur l'établissement d'une typologie de l'occupation du sol basée sur l'étude de la distribution des grandeurs radiométriques à l'intérieur d'un ilot par l'analyse des quantiles. Les traitements ont été mis au point sur échantillon, puis appliqués à l'ensemble de l'image ou à un autre échantillon. On a procédé à une évaluation systématique de toutes les classifications pratiquées, en construisant des matrices de confusion entre les résultats des classifications et la référence issue de la photo-interprétation contrôlée par des relevés sur le terrain.

Pour les sondages spatiaux en démographie urbaine les résultats des différents tests mis en oeuvre mettent clairement en évidence l'intérêt du tirage systématique sur carte (i.e image satellite classée), et d'une stratification sur la densité du bâti en 3 classes issue de l'image TM : une telle procédure permet de diviser la variance de l'estimateur par un facteur de 1,6 à 4,6 selon le caractère démographique considéré.

L'ensemble des résultats confirme la pertinence de la méthode de sondage aréolaire stratifié sur image satellite pour une enquête démographique.

1) Conditions d'exploitation des images SPOT de Quito.

1.1) Contraintes climatiques et thématiques pour l'acquisition d'une image.

Outre les contraintes imposées par le calendrier d'une opération de collecte de données, sur le plan thématique, toutes les périodes de l'année ne présentent pas le même intérêt : ainsi, l'information sur l'espace interstitiel végétal qui varie selon les saisons est fondamentale pour discriminer les différents types de quartiers. Lors du passage du satellite, l'importance de la nébulosité ambiante est un facteur essentiel qui détermine la portion d'image utilisable.

C'est dans ce double faisceau de contraintes, thématiques et météorologiques, que s'inscrit l'utilisation opérationnelle d'images SPOT pour l'observation suivie d'une ville telle que Quito. Concrètement, le problème s'exprime donc dans les termes suivants : quelle est la probabilité d'obtenir une image comportant un ennuagement inférieur à un maximum donné pour un mois jugé thématiquement intéressant (ou indispensable)?

Probabilité d'obtenir une image.

Nous avons calculé différentes probabilités correspondant à une nébulosité maximum donnée, et en ce qui concerne SPOT à un angle de visée latérale maximum. Nous considérons que la probabilité d'obtenir une image peut-être approximée par la fréquence calculée pour un mois donné pour laquelle une condition de nébulosité est vérifiée (inférieure ou égale à $X/8$, X variant de 0 à 8). Pour une tolérance maximum de $2/8$ de ciel couvert, la probabilité maximum d'obtenir une image est :

- pour TM : **67%** en Juillet

- pour SPOT : **42%** en Juillet en visée verticale, **79%** en Juillet avec un angle de visée inférieur à 10° , **97%** en Juillet et en Août avec un angle quelconque.

Les probabilités d'obtention d'une image SPOT et Thematic Mapper sans aucune nébulosité sont du même ordre si l'on accepte un angle de visée au plus égale à 10° . Cette affirmation peut être maintenue quelle que soit la nébulosité maximum tolérée.

En ce qui concerne les images verticales, SPOT est à la fois pénalisé par sa périodicité plus faible (tous les 26 jours contre tous les 16 jours pour Thematic Mapper) et dans une moindre mesure par son heure de passage plus tardive.

En revanche, les possibilités de visée oblique font, entre autres, de SPOT un satellite permettant un suivi plus fréquent de l'observation de la terre ainsi que la prise en considération éventuelle de la stéréoscopie.

1.2) Collecte de données sur la morphologie urbaine (oct. - déc. 1986).

1.2.1) Objectifs.

¹ Equipe ORSTOM (UR 406, ATOB, 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 final - Août 1987. Paris, 53 p. + 538 p.

L'objectif principal de cette première enquête réalisée à Quito est de recueillir une information précise sur l'occupation du sol dans un certain nombre d'îlots de Quito afin d'**initialiser** l'interprétation des images satellite devant servir de base de sondage à l'enquête démographique d'octobre-novembre 1987.

Cette enquête morphologique permettra de préciser la stratégie de sondage à mettre en oeuvre pour l'enquête démographique finale à Quito. En effet, les données morphologiques, exploitées conjointement avec les données démographiques recueillies au cours d'une seconde enquête (enquête "habitat-population", réalisée en avril 1987), permettent de répondre aux questions suivantes : **quels sont les descripteurs de la morphologie urbaine les plus pertinents pour l'observation démographique à Quito? Quelles sont l'unité spatiale de collecte et la stratégie de sondage pertinentes pour une enquête démographique à Quito?**

1.2.2) Sélection de l'échantillon

Pour la sélection de l'échantillon de l'enquête morphologie comme pour toute l'expérimentation menée à Quito, nous n'utilisons que les documents de base susceptibles d'exister dans toute ville d'un pays en développement. C'est donc sur un plan de Quito¹ au 1/10.000 établi en 1982 non actualisé que nous avons réalisé la sélection de l'échantillon pour le recensement général de la population.

La technique d'échantillonnage a été des plus simples ; nous avons opté pour un tirage systématique sans remise sur grille plaquée sur le plan de Quito. Ayant fixé le taux de sondage à 5 % (résultat issu des travaux en sondages spatiaux réalisés par O. BARBARY sur Marseille), connaissant approximativement le nombre total d'îlots de Quito et la surface totale occupée par la ville, nous en avons déduit la taille moyenne d'un îlot (au sens "pâté de maisons") à Quito et la taille de la maille de la grille : 750 mètres de côté.

Nous avons ainsi constitué un échantillon de 199 îlots, par tirage systématique sur plan (Figure couleur N° 4 du cahier annexe).

1.2.3) Les documents d'enquête

Chaque îlot de l'échantillon est décrit par trois types de documents :

- **Carte** : sur le fond du plan de Quito agrandi au 1/500 sur lequel ne figurent au départ de l'enquête que les limites de chaque îlot à enquêter, les enquêteurs établissent la cartographie de l'occupation du sol de l'îlot. Tous les bâtiments ainsi que tous les éléments non bâtis doivent figurer sur ces plans.

- **Fiche de description** des bâtiments : chacun des édifices dessinés sur la carte est décrit sur cette fiche. Il est repéré par un numéro de 1 à n.

- **Photographies** : pour chaque îlot, les chercheurs de l'Orstom font des photographies depuis un point surplombant l'îlot (étage élevé d'un immeuble ou relief), et au sol, en bordure et/ou à l'intérieur de l'îlot. Ces photographies sont destinées à préciser et contrôler l'information recueillie par les enquêteurs.

1.3) Modification géométriques.

En fin de programmation d'acquisition, nous avons eu à notre disposition les scènes SPOT suivantes de niveau 1B

Juin 86	: panchromatique et multispectral, parties Nord et Sud
Août 86	: panchromatique et multispectral, partie Nord
Novembre 86	: panchromatique, parties Nord et Sud multispectral, partie Nord uniquement

ainsi qu'une image Thematic Mapper du 15 Septembre 86.

Les images SPOT obtenues sont de très bonne qualité radiométrique (Figure couleur N° 1 et 2 du cahier annexe), elles présentent une bonne dynamique (le panchromatique seuilé à 3% se situe entre 5 et 90). Cette dynamique est semblable sur toute les images qui ne présentent que très faiblement l'effet "pyjama". Nous n'avons pas décelé de différence entre barrettes dans les canaux du multispectral. Les incertitudes sur la qualité de la cartographie dont nous disposons (une carte au 1/15.000 sans indication de la projection utilisé ni aucune coordonnées géographiques et une

¹ A cette époque compte tenu du lancement tardif du satellite, nous ne possédions pas encore d'image SPOT

serie de cartes au 1/1.000 dont l'intégration dans une base prendra du temps) ne nous ont pas permis de demander une rectification géométrique. Nous avons effectué un essai de concordance des deux images panchromatiques (Juin : 22° R et Novembre : 8° L) à l'aide d'un algorithme fondé sur un polynôme de déformation de degré 5 avec une centaine d'amers relevés manuellement. Le résultat est suffisamment satisfaisant, malgré les problèmes posés par la différence d'incidence pour mettre clairement en évidence un certain nombre de modifications de petite taille concernant directement le bâti. La Figure couleur N° 6 du cahier annexe est une composition colorée (Juin en bleu, Novembre en rouge). Elle fait apparaître très simplement en rouge vif toute construction nouvellement apparue en l'espace de six mois.

Un traitement d'ensemble est ensuite effectué sur les images enregistrées en Juin 86, seule date pour laquelle la totalité du site de Quito est couverte en panchromatique et multispectral. Le raccordement de deux scènes continues d'une même trace s'effectue par la mise en coincidence des quelques 300 lignes communes. Les pré-traitements déjà effectués par SPOT IMAGE entraînent des différences radiométriques et géométriques sur cette partie commune. Ces différences sont suffisamment faibles pour être négligées (moins d'un pixel et moins de 5 comptes numériques). Nous avons extrait de ce rassemblement une fenêtre de 2000 colonnes sur 4000 lignes (20 X 40 Km) correspondant à la zone qui nous intéresse. La superposition entre le panchromatique et le multispectral de la même date laisse apparaître un décalage variant¹ entre 0 et 15 pixels. La correction par un polynôme de degré 5 est tout à fait satisfaisante, moins d'un pixel de décalage (Figure couleur N° 3 du cahier annexe).

2) Premiers résultats sur les images SPOT de Quito (Juin et Novembre 1986)

Quatre directions de recherche ont guidé nos premières exploitations des images SPOT de Quito : délimitation et stratifications simples de l'agglomération, extraction des réseaux de voirie, classification des zones et analyse numérique des textures et structures des quartiers.

2. 1) Stratification simple à partir des images traitées.

La première opération que nous avons réalisée concerne le tracé de la limite externe de la ville. Plusieurs documents photographiques réalisés à l'Atelier de télédétection de Bondy ont été utilisés pour parvenir à la délimitation finale¹.

- 2 images panchromatiques :

- Juin échelle 1/30 000 (2 tirages noir et blanc différemment contrastés afin de tenir compte de la dynamique entre les différents espaces non urbanisés).

- Août échelle 1/50 000 (2 tirages noir et blanc différemment contrastés)

- indice de végétation ($XS3 \cdot XS2$) / ($XS3 + XS2$) échelle 1/50 000 (2 tirages noir et blanc différemment contrastés)

- écart-type local (fenêtre 5*5) réalisé sur l'image panchromatique, photo couleur d'écran agrandie, échelle environ 1/60 000

- 1 indice de brillance ($XS3 \cdot XS2$), photo couleur d'écran agrandie, échelle approximativement 1/60 000.

Les différentes limites obtenues indépendamment par deux interpréteurs ont été confrontées. Leurs tracés respectifs n'offrent pas de différences fondamentales. Une limite de "synthèse" a donc été retenue : elle a été confortée par des contrôles sur le terrain.

La discrimination de la limite externe s'est faite pour l'essentiel sur l'image panchromatique brute, mais aussi sur l'image de l'indice de végétation et de l'écart-type local.

Le zonage à l'intérieur de l'espace urbain a été réalisé à partir d'une copie d'écran représentant une classification de la densité du bâti. Cette classification en 6 postes a été supervisée en fonction des statistiques descriptives calculées sur l'échantillon de 199 manzanas² précisément décrites et mesurées.

L'interprétation de cette classification, de pixels, a nécessité un important travail de zonage, non seulement en fonction de la valeur des pixels, mais surtout en fonction des **associations de valeurs** (de la texture) de l'image classée. En effet, il est aberrant de concevoir un indicateur de densité par pixel, et l'on doit tenir compte du voisinage *à fortiori* s'il s'agit d'effectuer un zonage dans l'optique d'une stratification de l'espace. Les plages de faibles surface n'ont donc pas été détournées. Ce zonage, pour lequel nous avons conservé les 6 postes initiaux a été effectué

¹ La chaîne de traitement a été définie en collaboration avec M. RAKOTO (ATOB).

² Paté de maisons entouré par un réseau de voirie

indépendamment par deux interpréteurs, puis reporté, après confrontation, sur le tirage panchromatique au 1/30.000 préalablement délimité. Ces quelques exemples montrent l'intérêt des néo-canaux pour établir facilement des classifications simples de la ville, pertinentes pour notre objectif de stratification de l'espace urbain en vue d'une enquête démographique.

2.2) Mise en évidence des réseaux de voirie - Labellisation des zones.

Pour faire apparaître les phénomènes urbains qui nous intéressent (la densité du bâti par exemple), nous avons constaté l'avantage, en site urbain, du traitement d'image satellite dans des zones par rapport à un traitement classique par pixel. Cet avantage nous est apparu lorsque nous avons travaillé sur les images Thematic Mapper de Marseille.

Il s'agit donc ici de tester la fiabilité d'une extraction automatique de la voirie devant permettre la création de zones, une zone étant l'unité spatiale incluse à l'intérieur des contours de la voirie adjacente. Cette entité, le pâté de maisons, servira de base pour la définition des unités spatiales d'enquête. Pour parvenir à cet objectif, trois principaux problèmes doivent être résolus : l'extraction de la voirie, la reconstruction des contours (chaque zone devant impérativement être fermée), et la labellisation de toutes les zones.

Une multitude de méthodes existent pour détecter puis extraire des contours sur une image. La morphologie mathématique, en teintes de gris sur image en trame carrée, d'un développement récent, offre des chaînes de traitements rapides et d'une mise en œuvre aisée, ce qui n'est pas toujours le cas des méthodes plus classiques (gradient par exemple).

2.2.1) Définition de la chaîne de traitement choisie pour extraire la voirie

Les réseaux routiers principaux se singularisent sur une image satellite par 3 facteurs essentiels :

- leur réponse radiométrique très faible (XS3 et Panchromatique),
- leur finesse spatiale,
- leur configuration linéaire (suite de pixels connexes).

Nous avons travaillé sur une image résultant de la somme du Panchromatique et du proche infra-rouge afin de bénéficier de la résolution spatiale optimum et du pouvoir discriminant du canal (XS3). Les opérations suivantes représentent les différentes étapes à mettre en œuvre :

• Transformation "chapeau haut de forme" :

("fermeture" de l'image, soustraction de l'image origine à l'image "fermée")

• Seuillage. La valeur du seuil influe de façon considérable sur le résultat. La valeur optimale de ce seuil correspondant à la valeur pour laquelle nous conservons un maximum d'éléments linéaires et un minimum de pixels isolés.

• Amincissement par itérations successives

Ce qui nous intéresse ici, ce n'est pas de conserver une information sur l'importance (largeur) de la chaussée, mais d'extraire un élément de contour à partir d'éléments de la voirie.

• Suppression des pixels isolés

• Fermeture des contours

La méthode préconisée par [MILGRAM et al, 1986]¹, paraît adaptée à notre cas bien qu'un grand nombre de points "selle"² apparaissent. Elle comprend deux étapes :

- génération de l'image des distances au point contour le plus proche

- recherche des points selle. Pour éviter une sur-détection de ces points selle, on élimine les points détectés qui se situent trop loin du point contraste le plus proche.

• Suppression des zones contenant un seul pixel.

• Ebarbulage (suppression des linéaments ne délimitant pas au moins une zone). Ce traitement n'a pas été réitéré jusqu'à idempotence (Figure couleur N° 5 du cahier annexe).

2.2.2) Labellisation des zones.

Les pixels 4-connexes compris à l'intérieur d'un ensemble de réseaux de voirie ont été étiquetés (recodés suivant la même valeur). Nous avons ainsi identifié 9.785 zones.

¹ MILGRAM M. et COQUEREZ J.P., 1986. Fermeture des contours par un opérateur local. Traitement du signal, Vol 3, n° 6, pp. 302-311.

² Nouveaux points contour apparu à l'issue de l'algorithme de reconstruction.

2.2.3) Classification des zones.

La classification retenue est de type barycentrique. Nous avons donc classé les zones en fonction de leur moyenne radiométrique dans les 4 canaux initiaux ainsi que dans 3 néo-canaux : indice de végétation, indice de brillance et écart-type local calculé sur le panchromatique. (fenêtre 5*5). Cette classification a été initialisée sur 6 classes (du non bâti au très dense) à partir des 199 manzanas de l'échantillon (Figure couleur N° 7 du cahier annexe).

2.2.4) Conclusions.

La comparaison d'une partie de l'image SPOT traitée et d'un extrait de carte initialement à l'échelle 1/15 000 indique clairement que le problème à résoudre est prioritairement lié à une sur-détection du réseau de voirie. On notera qu'une multitude de petits segments sont représentés à l'intérieur des pâtés de maisons. Ces premiers résultats montrent la difficulté d'extraire numériquement la voirie en milieu urbain à partir d'une image ou visuellement celle-ci apparaît de façon relativement distincte. Cependant, une première comparaison permet d'affirmer que si la méthode visuelle permet de n'extraire que les éléments de voirie et de constituer ainsi des éléments linéaires continus, elle ne permet pas de les extraire tous.

2.3. Analyse numérique des textures et structures des quartiers.

Pour ce troisième type d'exploitation des images SPOT de Quito, la question était la suivante : comment, numériquement, caractériser et stratifier les quartiers de Quito en fonction de leurs textures et structures.

2.3.1) Choix de l'échantillon-test.

L'échantillon-test est composé de 65 imagerie carrées et de taille fixe (64 pixels), réparties sur l'ensemble de l'image SPOT de Quito du 26 novembre 1986.

Le choix des imagerie de l'échantillon a répondu essentiellement à trois critères :

- une répartition spatiale aussi large que possible, de façon à couvrir l'ensemble des réalités urbaines,
- une homogénéité visuelle de la zone,
- dans la mesure du possible, une correspondance avec les îlots de l'enquête Morphologie (octobre-décembre 1986), pour la caractérisation géographique.

2.3.2) Etude de la texture : les matrices de cooccurrence en niveaux de gris.

Le choix des matrices de cooccurrence pour caractériser la texture à l'intérieur de zones homogènes a été guidé par deux raisons majeures :

- c'est une des seules méthodes permettant de quantifier de manière synthétique et rapide la texture à l'intérieur d'une zone pré-définie ;
- cette méthode privilégie une approche stochastique qui paraît bien adaptée au type de texture des images satellite.

Le programme de calcul des matrices de cooccurrence développé à l'ATOB a donc été appliqué aux 65 zones composant l'échantillon de Quito; pour chacune de ces zones, ont été produits 5 paramètres caractérisant la matrice de cooccurrence (centre de gravité de la matrice, moment angulaire du second ordre, degré d'organisation du nuage, homogénéité locale, inertie). La relation spatiale retenue est la suivante : distance entre deux pixels égale à 1, angle égal à 0°.

Une Analyse en Composantes Principales sur ces paramètres a mis en évidence une assez grande corrélation des paramètres entre eux, la primatie de l'entropie et du second moment angulaire, des regroupements d'individus, selon leur position sur le premier plan factoriel.

La classification de type nuées dynamiques a ainsi permis de dégager quatre grands groupes de texture qui rassemblent des quartiers à paysage urbain assez homogène :

- Groupe 1 : texture "lisse", milieux rural et "pré-urbain"¹
- Groupe 2 : texture "ponctué", urbanisation faible à moyenne
- Groupe 3 : texture "grenue", urbanisation moyenne à forte
- Groupe 4 : texture "rugueuse", urbanisation dense.

Non seulement cette méthode permet de discriminer l'urbain et le non-urbain, mais elle autorise aussi des partitions de l'espace urbanisé.

¹ Les associations de constructions, même de petite taille, sont décelables sur le canal panchromatique SPOT et révèlent l'imminence de la colonisation urbaine.

2.3.3) Analyse de la structure : la Transformée de Fourier.

Après avoir analysé les spectres correspondant à des images élémentaires symbolisant le réseau de voirie d'une ville et l'habitat, nous sommes passés à l'analyse des situations réelles rencontrées à Quito, en appliquant aux 65 images de l'échantillon le programme informatique développé sur MINI 6 par M. RAKOTO (ATOB).

Au sein des 65 zones-test, une première grande division apparaît : l'absence de structure (24 cas) et la présence de structures (41 cas). Dans ce second ensemble, la mesure des rayons des spectres définit trois grands groupes :

- Groupe 1 : structures faibles, rayons de 3 à 6 unités (9 cas)
- Groupe 2 : structures moyennes, rayon de 6 à 9 unités (20 cas)
- Groupe 3 : structures fortes, rayons de 9 à 16 unités (12 cas)

La richesse de l'information d'une image panchromatique SPOT en milieu urbain générant sur le spectre un bruit nuisible à son interprétation, nous avons testé plusieurs méthodes d'amélioration de la méthode de Fourier : simplification de l'image par seuillage en 4 niveaux de gris, paramétrage des spectres (distance au centre, et hauteur des pics) et Transformée de Fourier inverse.

Avec un outil aussi simple que la distance des pics au centre, nous avons réussi à dégager trois grandes catégories de quartiers, et établir une hiérarchie des structures de quartiers par double classement sur les réseaux secondaires. Il convient toutefois de rappeler le caractère particulier des structures mises en évidence par cette méthode : structures à éléments périodiques ou pour le moins réguliers.

2.3.4) Caractérisation structurale et texturale.

Le Tableau suivant montre l'existence d'une certaine cohérence entre les résultats des deux analyses, texturale et structurale : bien que demeurent un certain nombre d'imprécisions, aucune contradiction flagrante n'apparaît. Compte tenu de la très grande réduction d'information opérée lors de la caractérisation des spectres, il s'agit là d'un résultat satisfaisant.

CLASSIFICATION selon la texture - Les cooccurrences -

	1	2	3	4
1	- Environnement naturel - Trace d'exploitation	- Trame à structure faible	- Environnement rural - Trame de voirie pré-urbaine	- Voirie haute
2	- Mitage diffus habitat dispersé	- Parcellaire mité	- Mitage par noyaux - En voie d'urbanisation	
3	- Habitat dense individuel récent - Constructions utilitaires		- Bâti continue de banlieues anciennes ou dégradées	
4	- Proche centre ville	- Quartiers résidentiel ancien - Quartier des affaires	- Habitat individuel aisé ou mixte proche du centre ville - centre ville	- Vivienda

2.3.5) Conclusions.

Malgré une utilisation des outils assez rudimentaires, cette méthode semble donc intéressante pour caractériser certains aspects de la morphologie urbaine. La transformée de Fourier ne peut cependant convenir que pour la caractérisation des structures de certains quartiers, et non pour l'analyse de structures complexes.

Conclusion générale.

Les résultats que nous présentons ici sont des résultats intermédiaires, dont l'évaluation précise est actuellement en cours de réalisation. Ils semblent prometteurs et pourront être améliorés par une meilleure efficacité de certains outils :

- la rectification géométrique tenant compte des altitudes et pentes grâce à un modèle numérique de terrain,

- des algorithmes d'extraction de contours plus performants

- une paramétrisation précise des spectres de Fourier

La finesse de la typologie de l'espace urbain que l'on peut d'ores et déjà extraire de l'analyse des images SPOT peut être améliorée en intégrant pour chacune des différentes entités spatiales :

- une caractérisation fine de la radiométrie et de la texture (à l'aide de quantiles par exemple),

- une caractérisation topologique (forme et distribution spatiale des bâtiments, etc...)

L'intégration de ces nombreuses données (plus des informations exogènes) dans un système d'information géographique paraît indispensable, ainsi que l'appel à l'intelligence artificielle afin de gérer efficacement et rapidement l'ensemble de toutes ces informations.

PUBLICATIONS ET NOTES DE TRAVAIL DE L'EQUIPE ORSTOM

(peuvent être consultés à l'ORSTOM, documentation ATOB, 70-74 Route d'Aulnay, 93140 Bondy, FRANCE, ou à la mission ORSTOM de Quito, EQUATEUR)

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, 42p.

MICHEL A., DUREAU F., LORTIC B., SOURIS M., 1987. Mise au point des méthodes d'analyse des images satellite à haute résolution et évaluation des informations fournies par ces images. 1 : Etude statistique du descripteur "densité du bâti". Présentation des classifications. 2 : Mise en évidence des réseaux routiers sur une image SPOT panchromatique. Etude de faisabilité sur Quito (Equateur). Paris, Service Technique de l'Urbanisme, Bilan sur la télédétection urbaine en France (en cours d'édition), 10 p. + photos.

SOURIS M., 1986. Systèmes d'information géographiques et bases de données.. Paris, ORSTOM, collection Colloques et séminaires, Numéro sur le traitement des données localisées, pp. 29-87.

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 XXe congrès général de l'Union Internationale pour l'étude 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 B., MICHEL A., SOURIS M., 1987. Informatica, teledeteccion y observacion de las poblaciones urbanas. Una investigacion vigente en Quito (ECUADOR). Communication à la Primera Conferencia Latinoamericana sobre informatica en geografia, San José, Costa Rica, 5-9 Octobre 1987.

SOURIS M., 1987. A geographic information system with relational architecture : principles and example of use of the TIGER system. Communication à la Primera Conferencia Latinoamericana sobre informatica en geografia, San José, Costa Rica, 5-9 Octobre 1987.



FIGURE N° 1 - JUIN 86

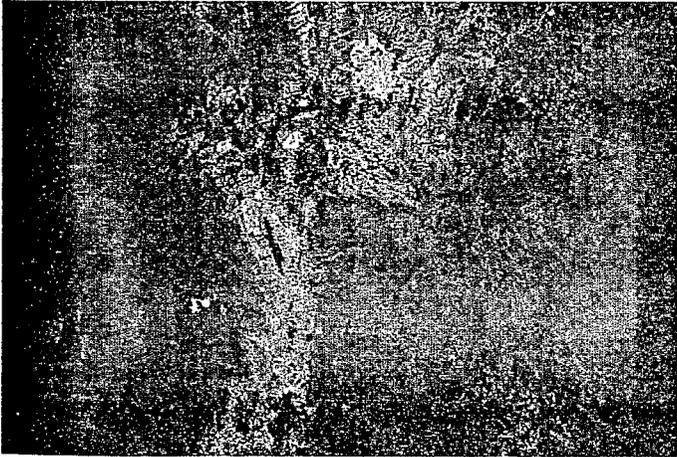


FIGURE N° 2 - NOVEMBRE 86

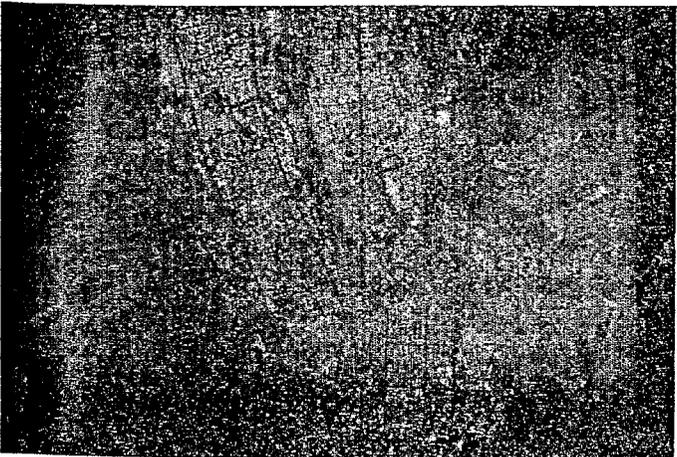


FIGURE N° 3 - PANCHRO + XS3

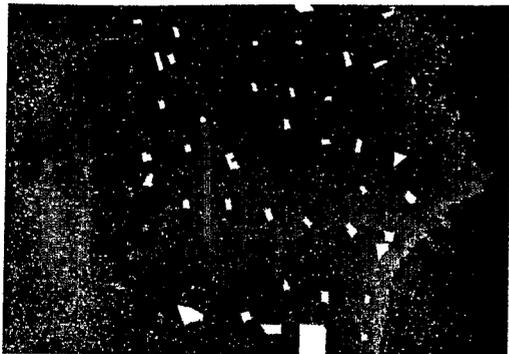


FIGURE N° 4



FIGURE N° 5



FIGURE N° 6

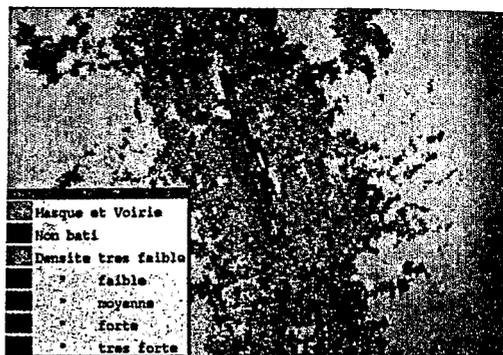


FIGURE N° 7