

Alain MICHEL  
Allocataire M.R.T.  
ORSTOM Département D, UR 406.  
E.H.E.S.S.

AVRIL 1987

TELEDETECTION ET OBSERVATION SUIVIE DE LA MORPHOLOGIE ET  
DE LA DEMOGRAPHIE DES VILLES DES PAYS EN DEVELOPPEMENT.

MISE AU POINT DES METHODES D'ANALYSE DES IMAGES DES  
SATELLITES A HAUTE RESOLUTION ET EVALUATION DES INFORMATIONS  
FOURNIES PAR CES IMAGES.

ETUDE STATISTIQUE DU DESCRIPTEUR "DENSITE DU BATI".  
PRESENTATION DES CLASSIFICATIONS.

## PLAN

### PAGE

#### INTRODUCTION.

##### Rappel.

Objectifs du programme de recherche de l'ORSTOM.

Problématique du travail effectué.

##### Déroulement de l'étude.

Justification du choix du descripteur DENSITE DU BATI.

Explication de la démarche suivie.

6

#### I) Etude du découpage morphologique issu du descripteur "DENSITE DU BATI" observé sur la mosaïque photographique au 1/23 000.

I.0) Rappel des caractéristiques statistiques des 6 canaux de Thematic Mapper.

I.1) Les statistiques descriptives sur les variables radiométriques.

I.1.1) Les valeurs radiométriques brutes.

I.1.2) L'indice de végétation  $(TM4-TM3)/(TM4+TM3)$ .

I.1.3) Les néo-canaux  $(4-5), (4+5), (4-5)/(4+5)$ .

I.1.4) Les composantes principales ACP1, ACP2.

I.2) Etude sommaire de la texture des zones morphologiquement homogènes.

I.2.1) L'écart type local et la moyenne locale.

I.2.2) Les matrices de cooccurrences des niveaux de gris.

I.2.2.1) Etude des matrices de cooccurrences.

25

#### II) L'échantillon de travail.

II.1) Le principe de tirage des ilots échantillon.

II.2) L'enquête sur le terrain (Marseille - Juin 1986).

II.3) L'analyse des photographies aériennes

II.3.1) La superposition d'images générées par TIGER.

II.3.2) La fiche de saisie. La méthode de calcul. Les mesures.

II.3.3) Les problèmes d'interprétation des photographies aériennes.

II.4) La comparaison des surfaces calculées à partir de différentes sources.

II.5) Statistiques sur la densité du bâti.

II.5.1) L'histogramme des fréquences du coefficient de densité du bâti.

PAGE

II.5.2) La répartition du coefficient de densité du bâti par modalité.

40

III) L'étude des régressions.

III.1) Les régressions dans les sous-îlots.

III.1.1) Les matrices de corrélations.

III.1.2) Les régressions simples, multiples et polynomiales.

III.1.3) L'étude des résidus.

49

IV) Les classifications.

IV.1) Le seuillage du canal TM 4 au vu des résultats des matrices de cooccurrences.

IV.2) Le seuillage de la régression multiple la plus intéressante.

IV.2.1) Le seuillage des pixels.

IV.2.2) Le seuillage des îlots.

IV.2.2.1) La méthode des nuées dynamiques.

IV.2.2.2) La méthode des valeurs typiques.

IV.2) La classification supervisée de type barycentrique.

IV.2.1) La classification sur les pixels.

IV.2.2) La classification sur les îlots.

IV.4) La classification de type nuées dynamiques sur les îlots.

77

CONCLUSION ET PERSPECTIVES.

Liste des logiciels utilisés.

80

ANNEXES.

I Etude du descripteur DENSITE DU BATI.

II L'échantillon de travail.

III L'étude des régressions.

III.2) Les régressions dans l'ensemble sous-îlots et bande de 16 mètres autour des sous-îlots.

III.2.1) Les matrices de corrélations.

III.2.2) Les régressions simples, multiples et polynomiales

III.2.3) L'étude des résidus.

IV Les classifications.

93

ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE.

## INTRODUCTION

### Rappels.

Objectifs du programme de recherche de l'ORSTOM.  
Problématique du travail effectué.

### Déroulement de l'étude.

Justification du choix du descripteur DENSITE DU BATI.  
Explication de la démarche suivie.

### Objectifs du programmes de recherche de l'ORSTOM [RAPPORT ATP CNRS/CNES, 1986].

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 inadaptées. Les coûts technique, financier et humain des recensements exhaustifs rendent prohibitif 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 nécessaire dans les villes à croissance démographique rapide"<sup>1</sup>. 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 consiste donc à estimer la population d'une ville à partir d'une enquête réalisée par sondage aréolaire stratifié sur image satellite. 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

---

<sup>1</sup>A propos du traitement informatique des données localisées. Une expérience en cours: télédétection et observation des populations urbaines, F. DUREAU.

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 DENSITE DU BATI, que nous exposons dans ce rapport.

### Problématique du travail effectué

Nous posons comme hypothèse de 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 des informations pertinentes pour rendre compte de la morphologie urbaine, et plus particulièrement ici de la **densité du bâti**? Les questions qui en découlent 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.

### Déroulement de l'étude.

#### Justification du choix du descripteur DENSITE DU BATI.

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 BATI, TRES FAIBLE, FAIBLE, MOYENNE, FORTE, TRES FORTE.

Le but de ce travail est de générer à partir d'images Landsat TM 6 canaux, une image qui rende 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.

### Explication de la démarche suivie.

Dans un premier temps, nous avons travaillé sur un fichier image généré par TIGER<sup>2</sup> (Photo 0.1) qui décrit la zone d'étude en fonction des 6 modalités du descripteur DENSITE DU BATI (NON BATI, TRES FAIBLE, FAIBLE, MOYENNE, FORT, TRES FORT). A chacune des différentes zones pas nécessairement connexes est affectée la valeur de sa modalité [SOURIS M., 1986]. Des statistiques descriptives classiques sont ensuite calculées pour chaque modalité et dans 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 échantillon, une nouvelle image multithématique cette fois, a été générée par TIGER (Photo 0.2), en croisant la DENSITE DU BATI avec les îlots échantillon (Photo 0.3). Dans l'image résultante l'entité n'est plus l'îlot mais le sous-îlot. 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 bâtie/surface totale de l'îlot) qui est noté **coefficient de densité du bati** dans ce texte.

Les statistiques issues des indices qui nous ont paru les plus discriminants ont alors été calculées 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

<sup>2</sup>Système de gestion de base de données localisées mis au point par l'Unité d'Infographie de l'ORSTOM.

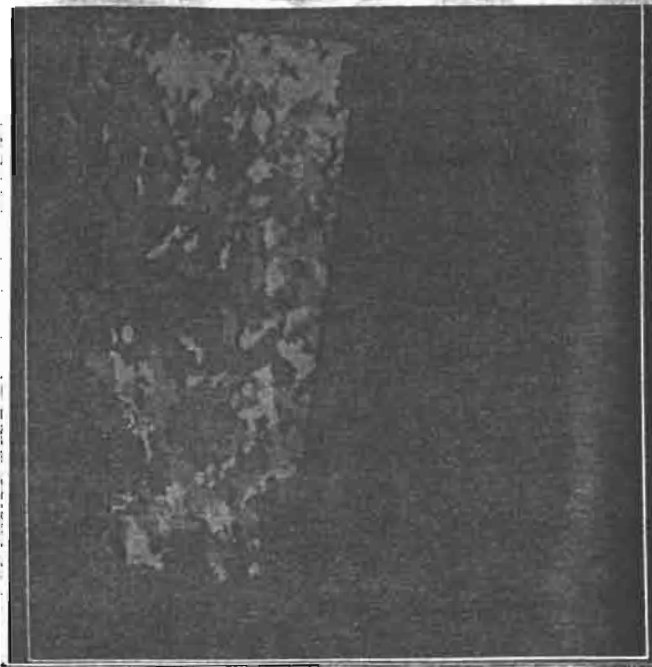


Photo 0.1 - Image du descripteur DENSITE DU BATI -



Photo 0.2 - Image du croisement DENSITE DU BATI/ îlots de l'échantillon -

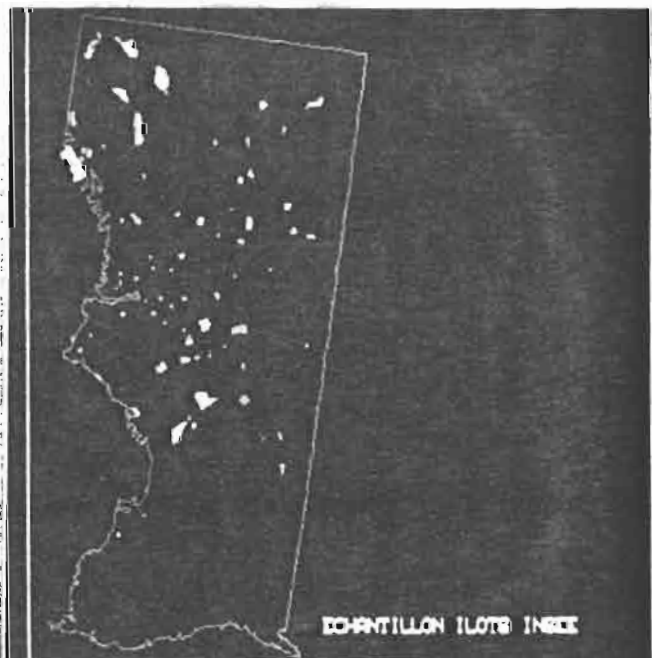


Photo 0.3 - Image des îlots de l'échantillon -

avec le coefficient de densité du bâti calculé précédemment. Les plus performantes sont présentées accompagnées d'une analyse des résidus indispensable pour mieux comprendre la raison des écarts constatés.

Divers 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 discussion sur leur fiabilité comparée, leurs avantages et inconvénients s'en suivra. Les individus classés sont soit des pixels, soit des îlots. En télédétection, classer des zones pré-définies et non des pixels est peu courant; nous verrons pourquoi cette façon de procéder améliore nos résultats

Nous aborderons pour terminer les problèmes qu'induit la résolution d'un pixel LANDSAT TM de 30 m de côté en milieu urbain et nous concluerons sur la nécessité d'adapter les méthodes classiques de classification à ce fait particulier ainsi qu'à notre problématique spécifique.

6

1) Etude du découpage morphologique issu du descripteur DENSITE DU BATI observé sur la mosaïque photo-aérienne au 1/23 000.

I.0) Rappel des caractéristiques statistiques des 6 canaux sur l'image TM de Marseille de Février 1983 (voir rapport ATP).

I.1) Statistiques descriptives sur les variables radiométriques.

I.1.1) Les valeurs radiométriques brutes.

I.1.2) L'indice de végétation  $(TM4-TM3)/(TM4+TM3)$ .

I.1.3) Les néo-canaux (4-5), (4+5) et  $(4-5)/(4+5)$ .

I.1.4) Les composantes principales.

I.2) Etude sommaire de la texture des zones morphologiquement homogènes.

I.2.1) L'écart type local et la moyenne locale.

I.2.2) Les matrices de cooccurrence des niveaux de gris.

I.2.2.1) Etude des matrices de cooccurrences.

L'objectif de ce paragraphe est de déterminer quels sont les canaux bruts ou indices qui sont les plus liés au descripteur DENSITE DU BATI. Peu de chercheurs travaillant sur le milieu urbain se sont intéressés à la densité du bâti et la plupart d'entre eux suivent une thématique plus fonctionnelle. Leurs principaux postes de classification sont les suivants: pavillonnaire, grands ensembles, usines et commerces, etc.... Contrairement au cas du milieu agricole, aucun indice ne s'est imposé dans la littérature, et ce quelle que soit la problématique choisie. En conséquence, nous testerons successivement les canaux bruts, les indices les plus couramment utilisés, ainsi que les composantes principales.

Dans une deuxième partie, nous étudierons de façon sommaire la texture à l'intérieur des zones de même modalité, abordée sous l'angle des matrices de cooccurrences, ainsi que des opérateurs spatiaux les plus classiques.

Rappel des caractéristiques statistiques des 6 canaux sur l'image TM de Marseille de Février 1983 (voir rapport ATP).

Les canaux de Thematic Mapper sur lesquels nous travaillons (le canal 6 de Landsat TM n'a pas été étudié dans ce rapport) présentent des étalements et des distributions très divers (Figure I.1). Ces histogrammes ont été calculés en masquant les valeurs radiométriques sur le canal 4 entre 0 et 9 afin que les réponses dues à la mer ne soient pas prises en compte. Ces distributions sont unimodales.

Figure I.1 - Histogramme de 6 canaux de Thematic Mapper -

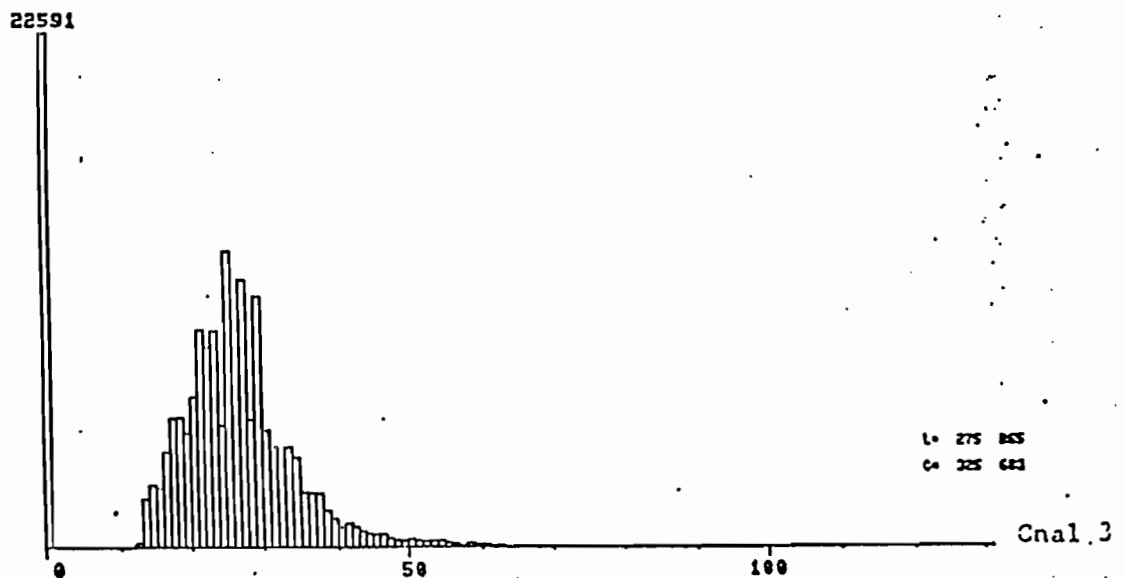
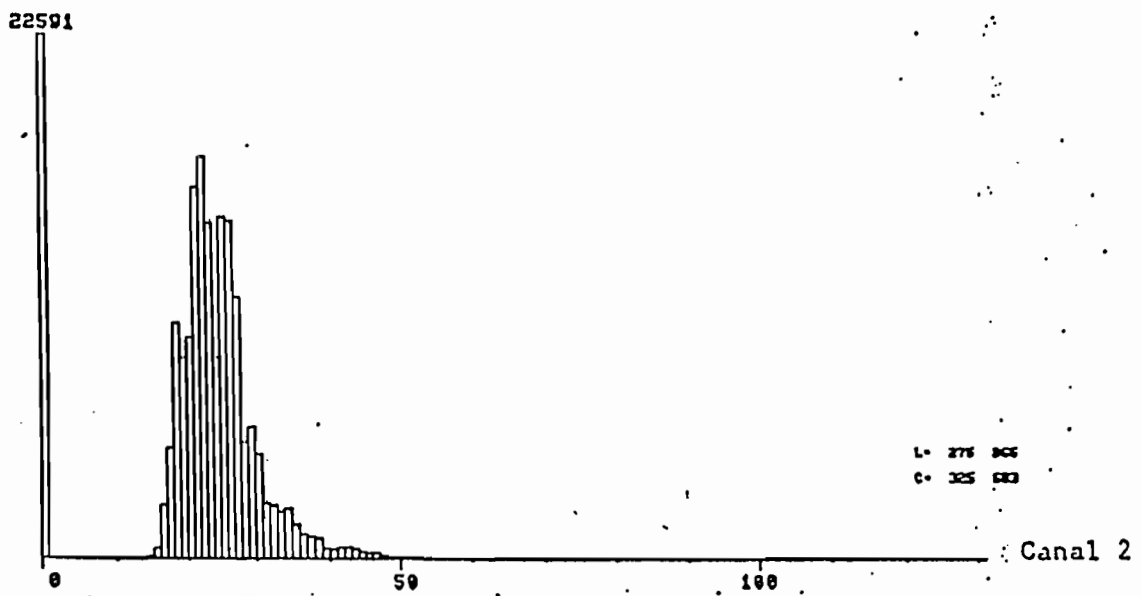
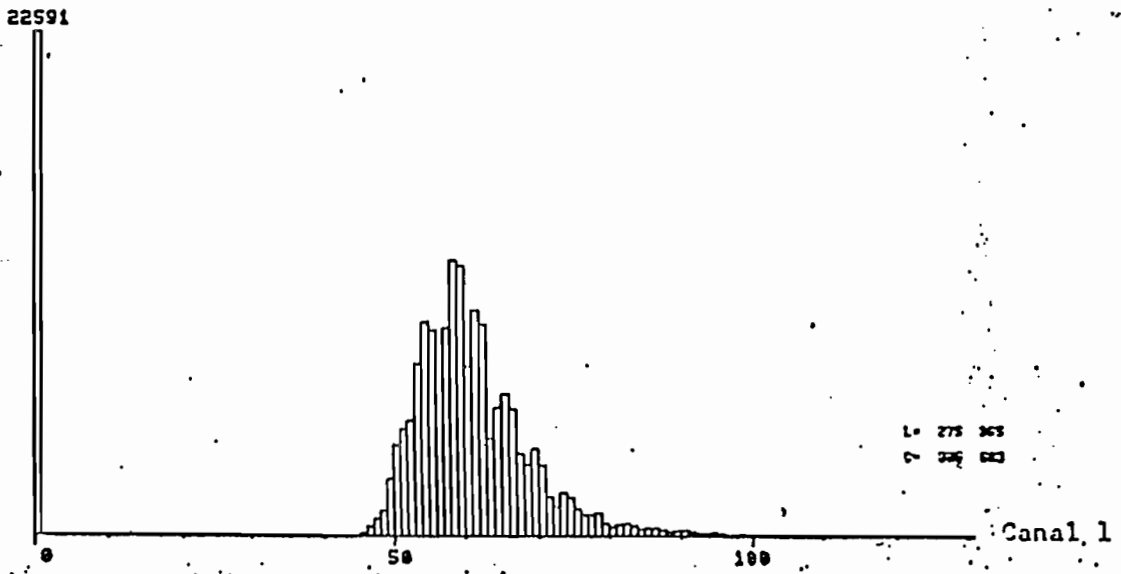
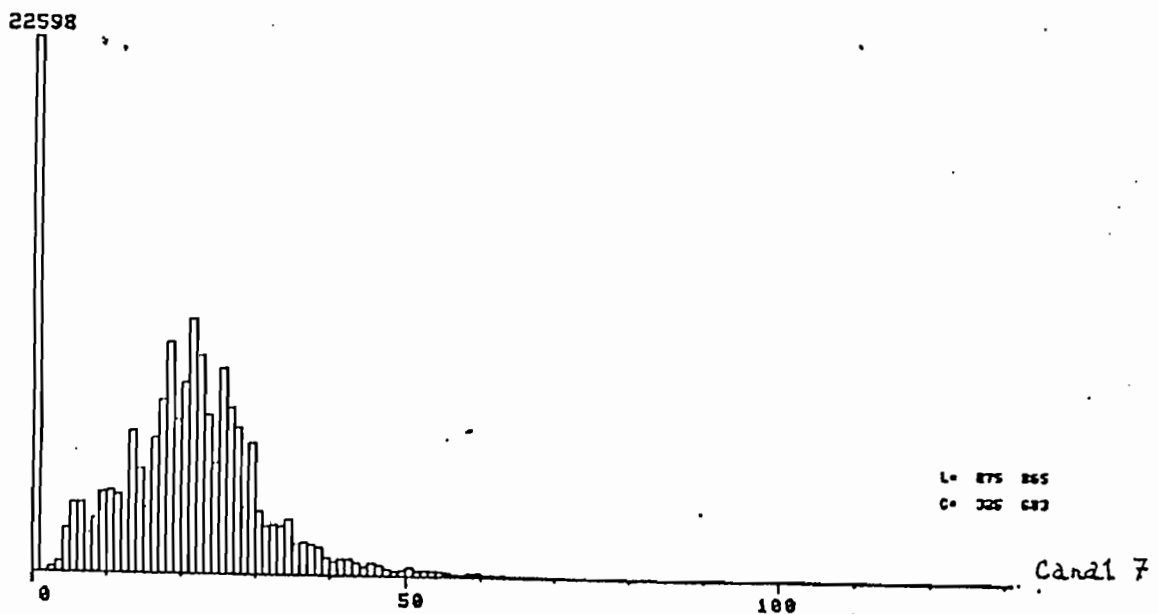
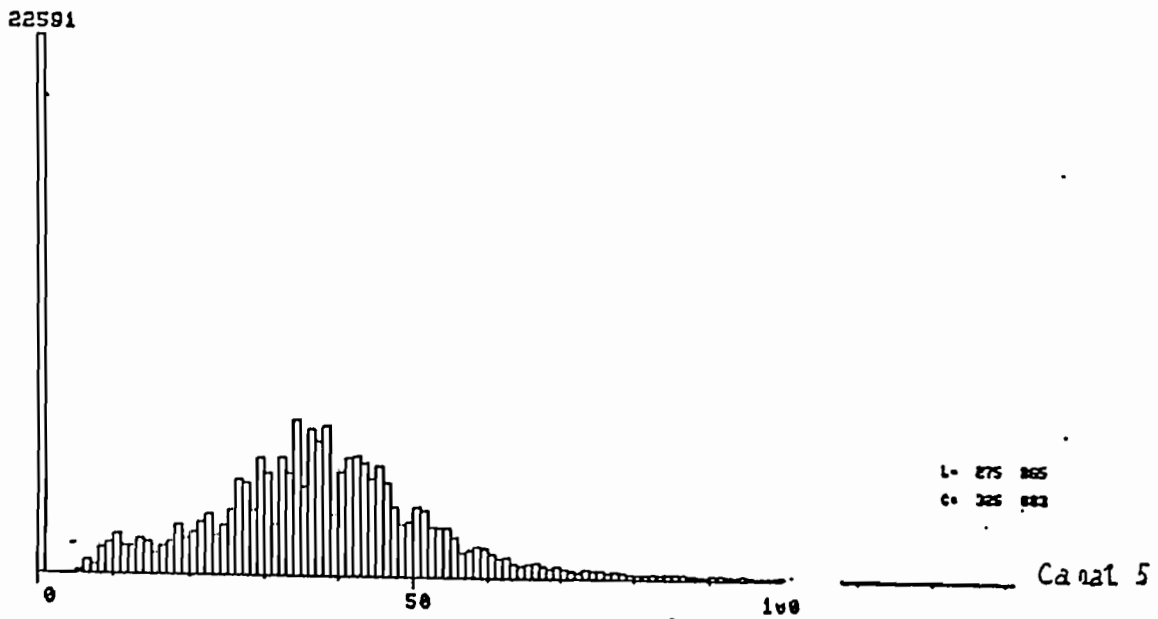
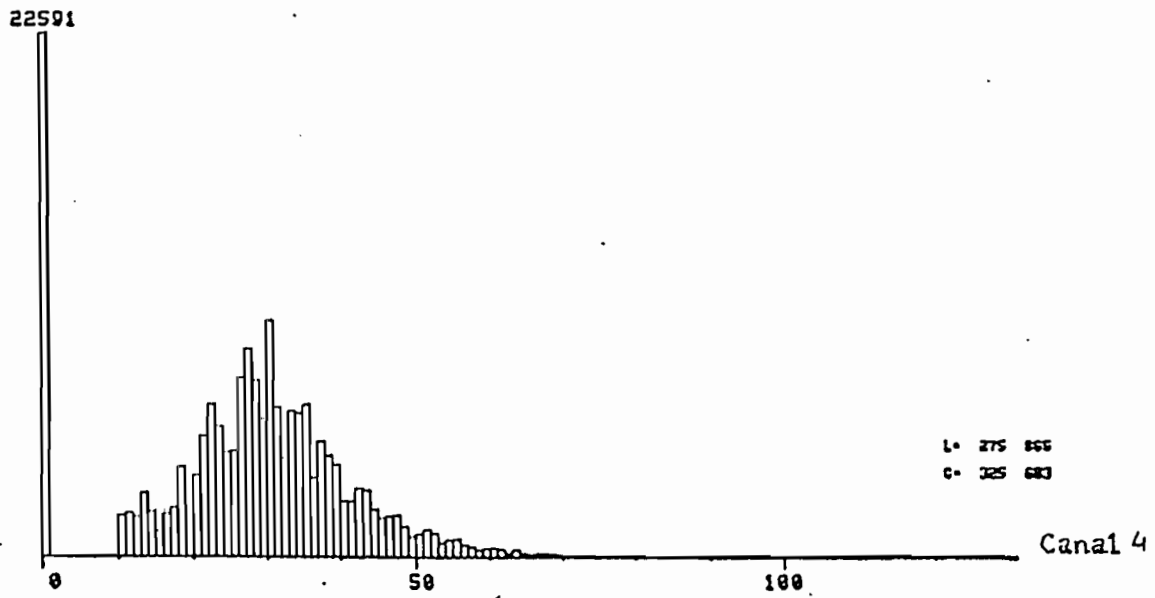


Figure I.1 - Histogramme de 6 canaux de Thematic Mapper -



Les données du tableau I.1 ont été calculées sur l'ensemble de la zone d'étude; elles tiennent compte des valeurs radiométriques mesurées sur la mer, contrairement à l'histogramme.

Tableau I.1 - Moyenne et écart-type des canaux TM-

CANAL	FENETRE	MOYENNE	ECART-TYPE
TM 1 ( bleu :	45-52 $\mu\text{m}$ )	58.70	6.79
TM 2 ( vert :	52-60 $\mu\text{m}$ )	22.41	4.88
TM 3 ( rouge :	63-69 $\mu\text{m}$ )	23.08	7.84
TM 4 ( IR proche :	76-90 $\mu\text{m}$ )	24.49	10.90
TM 5 ( IR moyen 1 : 1.55-1.75 $\mu\text{m}$ )		28.88	16.95
TM 7 ( IR moyen 2 : 2.08-2.35 $\mu\text{m}$ )		17.14	10.01

Compte tenu du peu d'information que nous possédons sur les traitements qui ont été effectués en amont, c'est-à-dire lors de la réception des images, il serait inopportun et risqué d'en tirer des conclusions à priori sur la valeur intrinsèque de tel ou tel canal. En particulier, il est excessif de conclure que le canal 5 est le meilleur pour l'unique raison qu'il offre un écart type plus important que les autres. Néanmoins, la faible valeur des écarts-type dans tous les canaux laisse augurer certaines difficultés quant à la discrimination de nos différents thèmes à l'intérieur de la ville.

Nous avons effectué une analyse en composantes principales sur un fichier image dans lequel la mer est masquée. Les différents canaux ont été centrés et réduits lors des calculs. Nous avons pu en tirer les indications suivantes:

- Les canaux sont fortement corrélés entre eux (Tableau I.2); la corrélation la plus faible (0.65) est obtenue entre les canaux 4 et 1 .

- Les 3 premiers axes expliquent 98.2 % de la variance totale (respectivement 86.4 ; 8.0 ; 3.7 ).

- Tous les canaux contribuent dans des proportions équivalentes à la formation de la première composante principale..

- La seconde composante oppose les canaux du visible (TM1, TM2, TM3) aux autres canaux (TM4, TM5, TM7) de l'infra-rouge proche et moyen.

- La troisième composante est imputable à l'opposition entre l'infra-rouge proche (TM 4) et les deux infra-rouge moyens (TM5 et TM 7).

Tableau I.2 - Coefficients de corrélation entre canaux -

	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 7
C 1	1.00					
C 2	0.95	1.00				
C 3	0.95	0.97	1.00			
C 4	0.65	0.74	0.75	1.00		
C 5	0.77	0.81	0.84	0.85	1.00	
C 7	0.82	0.85	0.88	0.76	0.95	1.00

X Au vu des ces résultats nous avons conclu à l'intérêt des combinaisons de canaux (1,4,7) ou (1,5,7) dont la signification thématique restait à déterminer. Une composition colorée de chocune des deux combinaisons a été tirée sur papier. En première approche, la combinaison (1,4,7) distingue plus particulièrement les espaces végétaux contrairement à la seconde (1,5,7) qui renseigne plus spécifiquement sur les espaces minéraux.

### I.1) Statistiques descriptives sur les variables radiométriques.

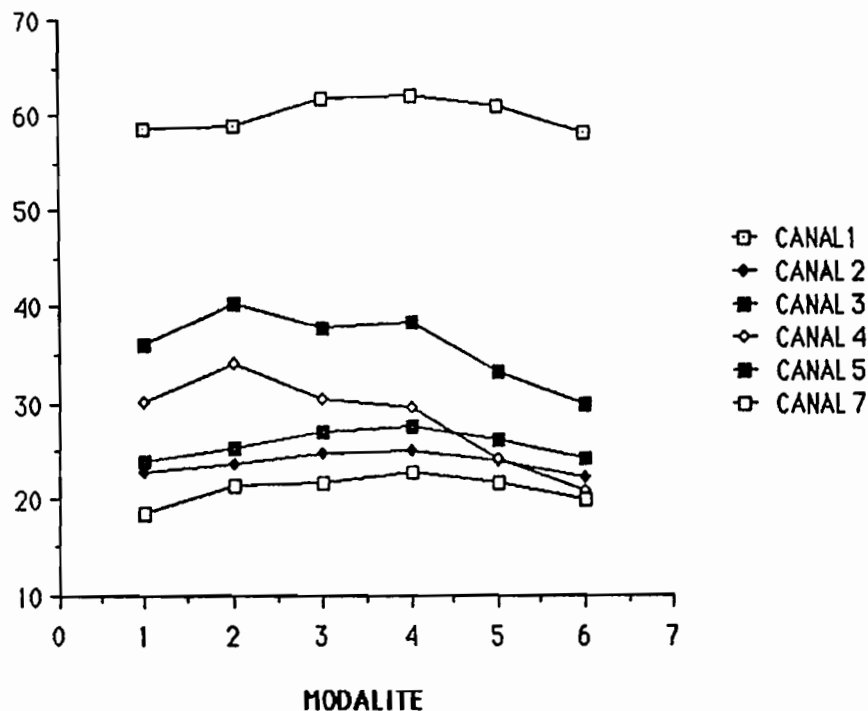
Ces statistiques, valeurs radiométriques brutes, indice de végétation et néo-canaux, ont été calculées sur des zones morphologiquement homogènes délimitées sur photographies aériennes à l'échelle 1/23.000, numérisées puis intégrées dans le système de gestion de base de données TIGER™. L'image de la densité ainsi obtenue (Photo 0.1) a été superposée aux 6 images correspondant aux 6 canaux de Thematic Mapper. Existe-il des variables radiométriques qui soient liées à la densité du bâti ? Telle est la question à laquelle nous allons tenter de répondre au cours de ce paragraphe.

#### I.1.1) Les valeurs radiométriques brutes.

Nous avons effectué des statistiques sur 6 des canaux de Landsat TM, le 7<sup>ème</sup> canal ( TM 6 infra-rouge thermique) étant provisoirement mis de côté. Dans toutes les figures qui vont suivre, les moyennes de valeurs

radiométriques par modalité sont portées en ordonnée, et les modalités sont indiquées en abscisse par ordre croissant de densité.

Figure I.2 - Variation des canaux bruts en fonction des modalités -



( DENSITE CROISSANTE)

1: NON BATI, 2: TRES FAIBLE, 3: FAIBLE, 4: MOYENNE, 5: FORTE, 6: TRES FORTE

La modalité N° 1 regroupe toutes les zones non bâties. Les numéros (de modalité) suivants correspondent aux zones de plus en plus denses.

Il apparait clairement que seuls les canaux 4 (infra-rouge proche) et 5 (infra-rouge moyen) varient en fonction de la modalité du descripteur retenu. On s'aperçoit que dans ces deux canaux, à partir de la modalité FAIBLE ( voir Tableaux I.3 et I.4 en ANNEXE I), la moyenne radiométrique décroît lorsque la densité augmente .

La modalité N° 1 (NON BATI) apparait comme la plus disparate avec l'écart-type le plus important dans le canal 4 . En effet, elle regroupe des zones très différentes: carrières, étendues agricoles, espaces boisés etc... De ce fait elle ne pourra certainement pas être mise en évidence à l'aide d'un seul canal TM et devra être traitée à part.

Les zones suivantes paraissent plus homogènes à mesure que l'on se rapproche de la densité maximum (écarts-type plus faibles) mais cela ne

semble pas uniquement imputable à leur plus faible étendue compte tenu des maxima et minima moins éloignés. On remarque une coupure importante surtout dans le canal 4, entre d'une part les moyennes des zones très faiblement, faiblement, et moyennement bâties et, d'autre part, celles des zones à forte et très forte densité. Cette coupure laisserait supposer l'existence d'un seuil important entre les modalités MOYENNE et FORTE.

L'analyse des coefficients de forme, asymétrie et aplatissement, dans les canaux 4 et 5 (Tableaux I.3 et I.4 ANNEXE I) nous apporte les indications suivantes :

- les différentes modalités présentent une distribution légèrement dissymétrique vers les fortes valeurs,

- tous les coefficients d'aplatissement sont positifs, ce qui caractérise une distribution moins aplatie que la normale; c'est plus particulièrement le cas pour les modalités TRES FAIBLE et TRES FORTE, où ce phénomène est plus accentué.

L'analyse des histogrammes des différentes modalités dans le canal 4 (Figure I.3) met en relief quelques résultats intéressants :

- tous les histogrammes présentent des distributions unimodales; on note cependant quelques maxima locaux.

- les modalités TRES FAIBLE et FAIBLE possèdent des distributions quasi semblables, qui sont aussi très proches de celle de la modalité NON BATI; cependant le caractère asymétrique de la répartition est plus accentué pour la modalité NON BATI.

- les histogrammes se resserrent autour de la moyenne lorsque l'on considère les modalités les plus denses.

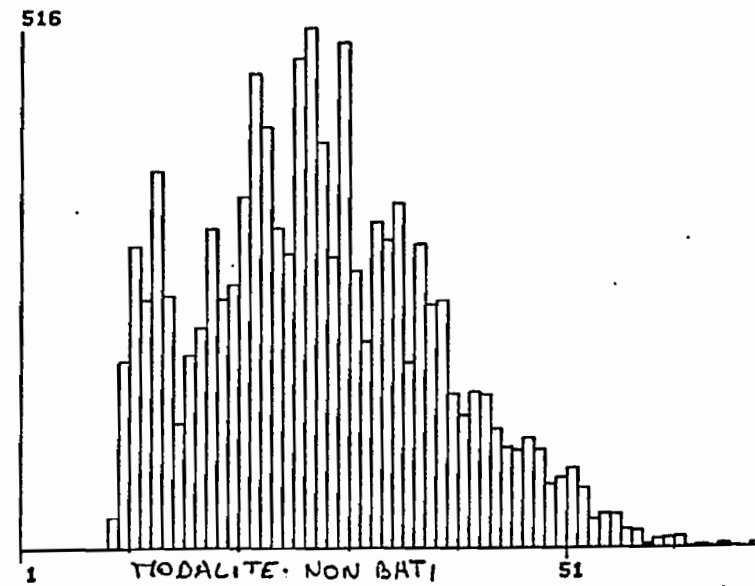
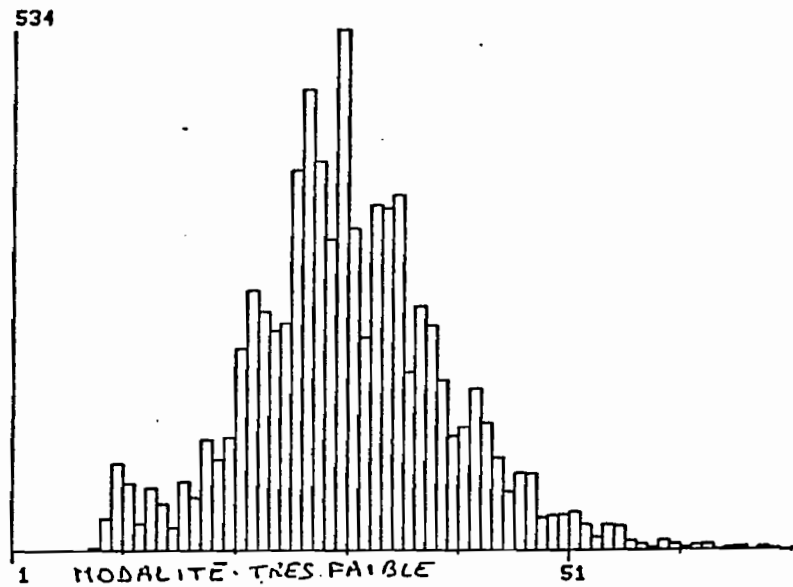
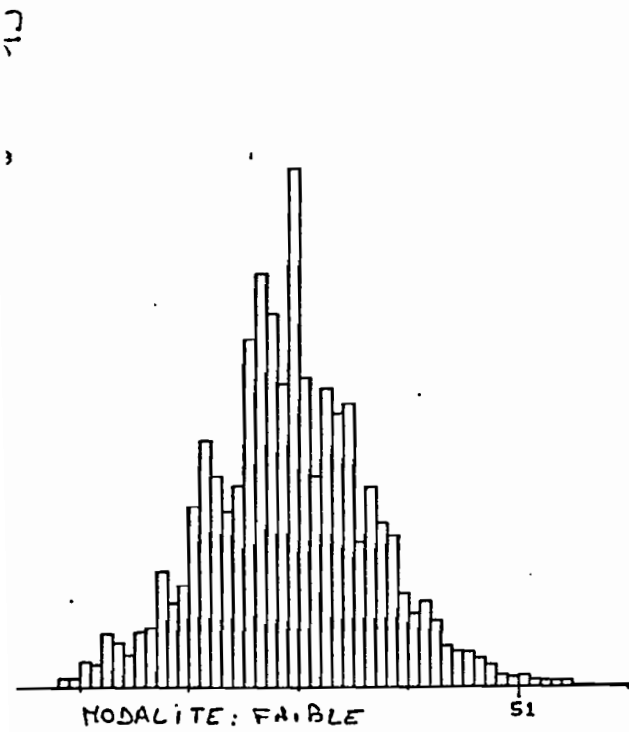
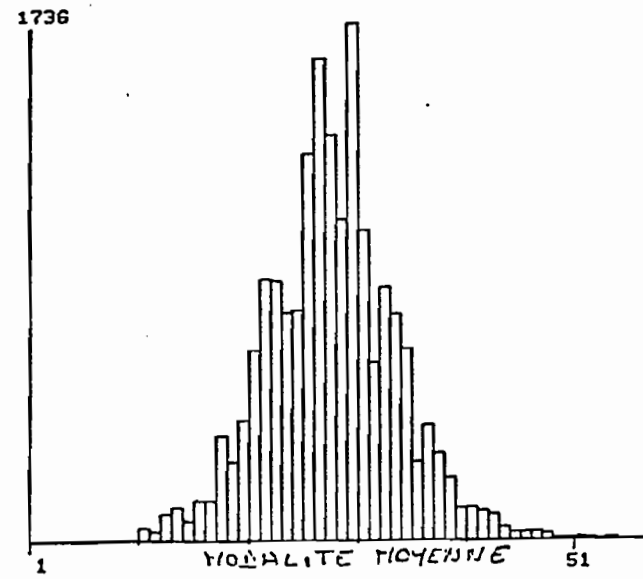
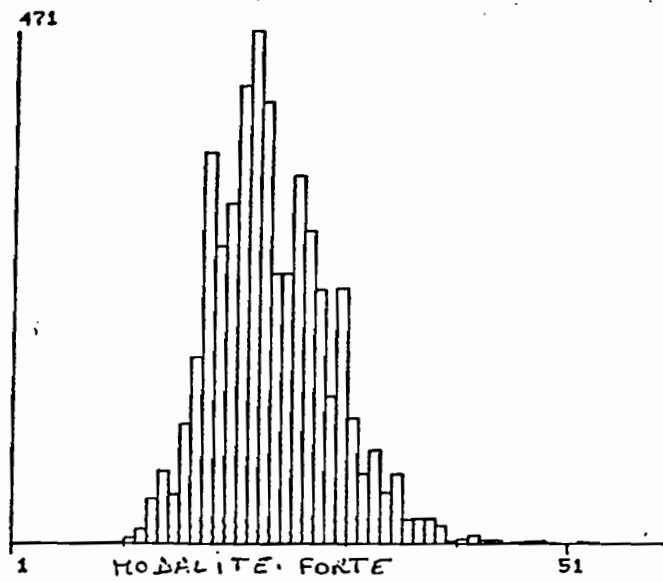
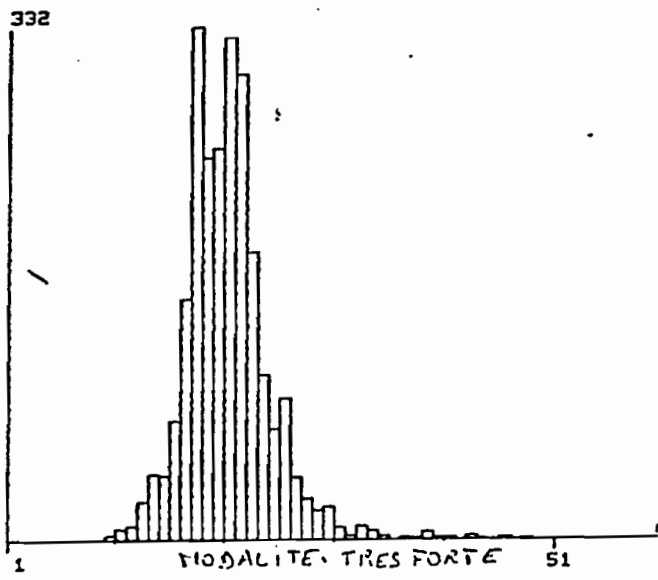
- **les densités les plus fortes correspondent aux valeurs radiométriques les plus faibles.**

Les résultats de cette première opération nous incitent à travailler en priorité sur le canal 4, secondairement sur le canal 5, ainsi que sur des combinaisons de ces deux canaux.

### I.1.2) L'indice de végétation $(TM4-TM3)/(TM4+TM3)$ .

Il peut paraître paradoxal de faire appel à un indice de végétation lorsque l'on étudie le milieu urbain. Cependant cet indice distingue bien les zones bâties des zones non bâties ce qui s'avère être une propriété primordiale dans notre étude. On regrettera le mois d'enregistrement de l'image (Février 1983) qui ne favorise pas les contrastes entre les zones urbaines et les zones rurales.

Figure I.2 - Histogramme du canal TM 4 par modalité -



Les résultats des statistiques descriptives par zones de l'indice de végétation rééталé linéairement entre la moyenne et + ou - 2 écarts-type sont exposés dans la Figure I.5. Le tableau I.5 des statistiques est présenté en ANNEXE I. Compte tenu du mode de rééталement choisi, il ne faut pas s'étonner de la valeur importante des écarts-type comparativement à ceux calculés sur les canaux bruts que nous n'avions pas rééталés. Ces écarts-type sont donc à comparer à la valeur 64.

Les résultats obtenus avec cet indice sont intéressants, mais les écarts-type des différentes modalités sont très importants et ne permettent pas de séparer immédiatement les différents types de tissus urbains; néanmoins on note que cet indice varie de façon inversement proportionnelle à la densité. Seules les modalités FORTE et TRES FORTE semblent plus homogènes et se distinguent davantage; cela permet en particulier de mieux distinguer la transition entre espace urbain et espace non bâti ou très peu bâti (BOASSON et al, 1983).

Comme il était prévisible, la Figure I.4 des histogrammes bidimensionnels par zone nous confirme que l'indice de végétation et le canal 4 ne sont pas corrélés, il est donc probable que la combinaison du canal 4 et de l'indice de végétation accroisse de façon très significative la discrimination des zones morphologiques.

Les structures curvilignes que nous constatons sur certains histogrammes sont dues au mode de rééталement linéaire (+ ou - 2 écarts-type) effectué sur l'indice de végétation.

### I.1.3) Les néo-canaux (4-5), (4+5) et (4-5)/(4+5).

Ces néo-canaux ont été élaborés selon la même technique que l'indice de végétation. Nous les avons étudiés car ils résultent de combinaisons des 2 canaux bruts de Landsat TM les plus liés au descripteur DENSITE DU BATI. Les résultats du néo-canal (4-5)/(4+5) sont présentés en ANNEXE I (Tableau I.6).

Tous ces néo-canaux sont liés plus ou moins fortement au descripteur DENSITE (Figure I.5); cependant l'importance de ces écarts-type rend l'emploi de ces néo-canaux délicat.

Nous notons avec intérêt la remarquable liaison entre les modalités du descripteur DENSITE DU BATI et le néo-canal (4-5)/(4+5). Ce néo-canal noté ultérieurement INDI est le seul des indices créés à suivre précisément les variations de la densité du bâti telle qu'elle a été définie lors de l'interprétation de la mosaïque, et ce quelle que soit la modalité considérée.

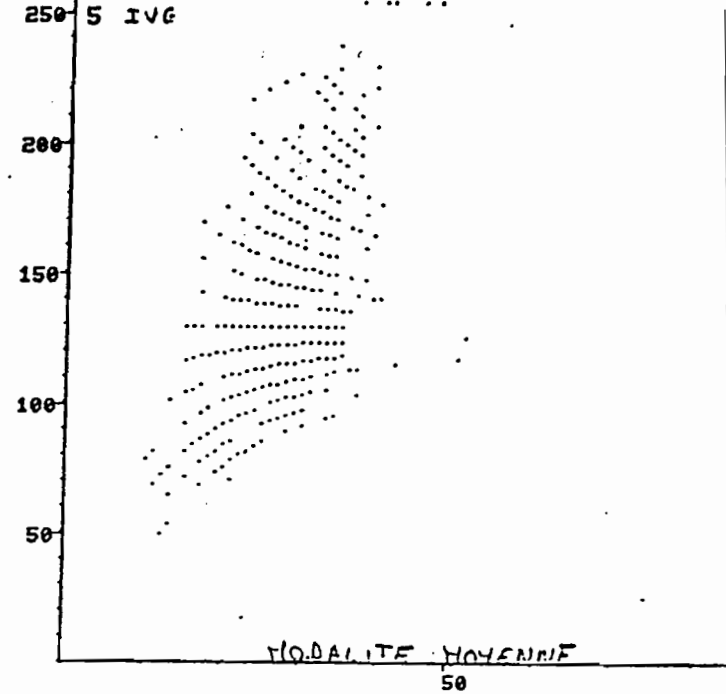
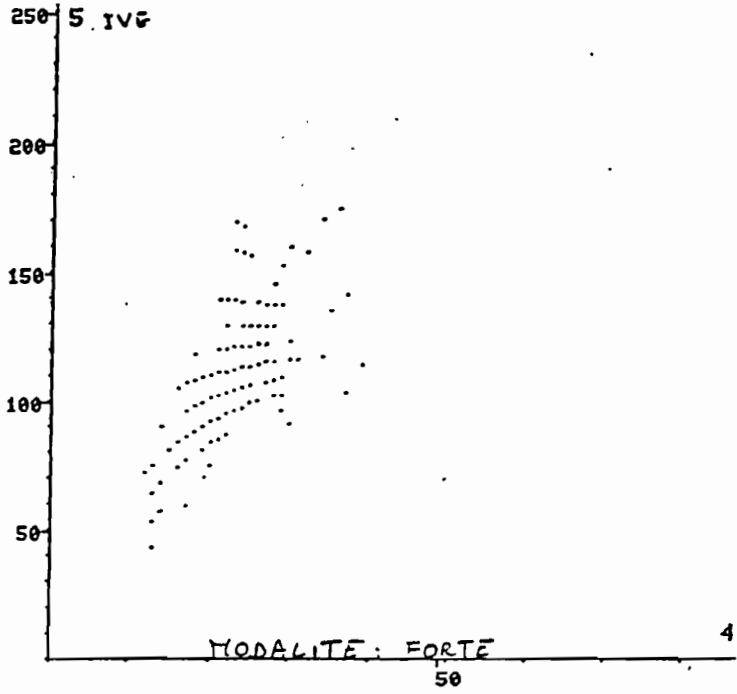
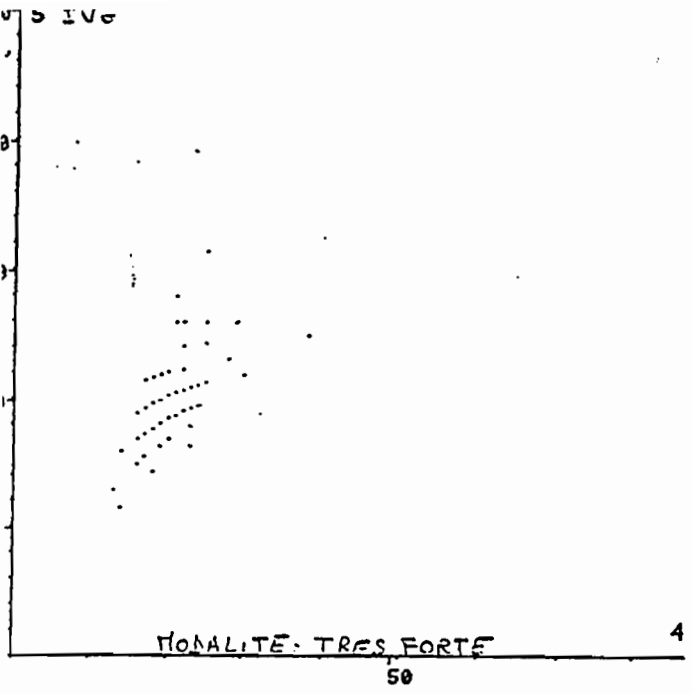
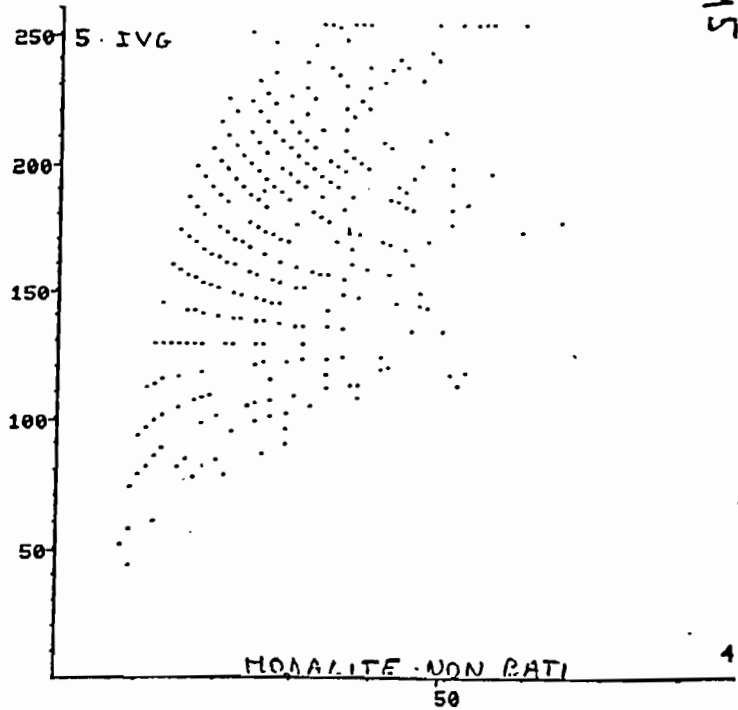
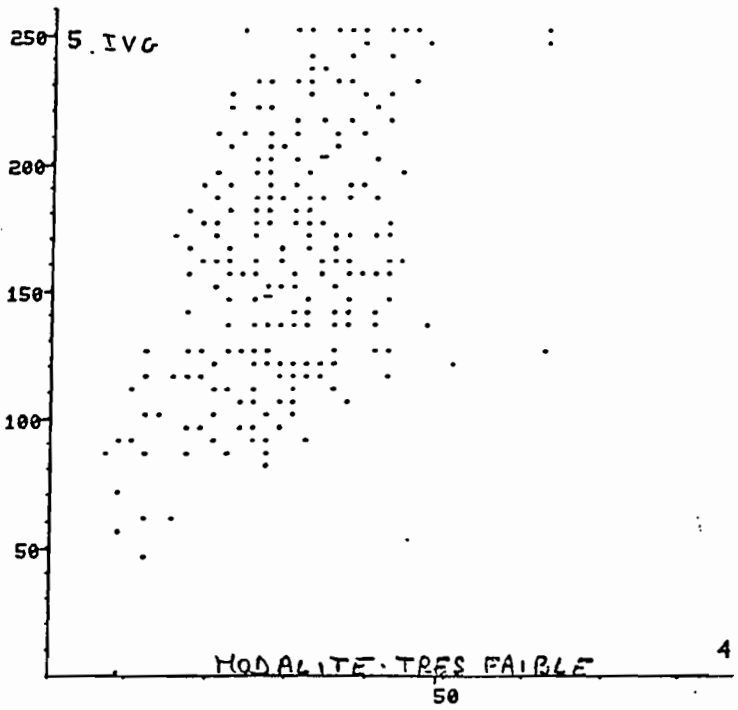
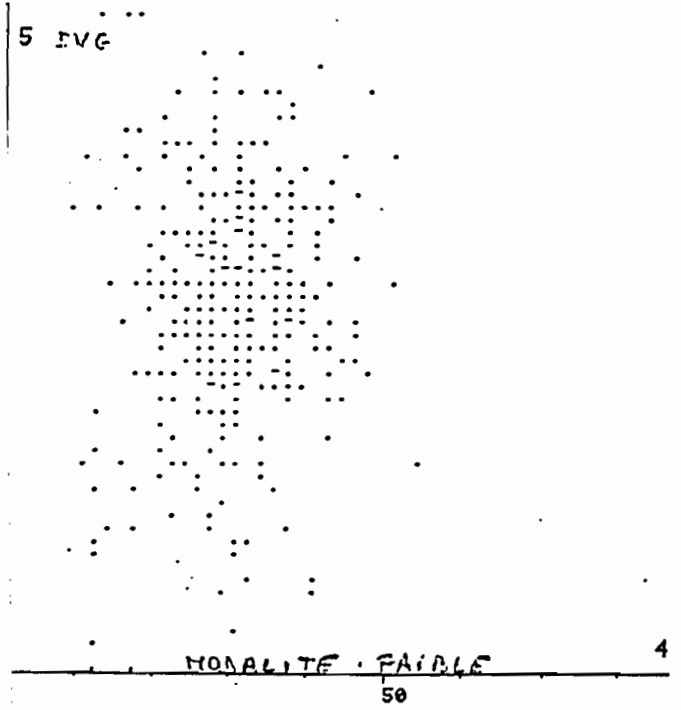
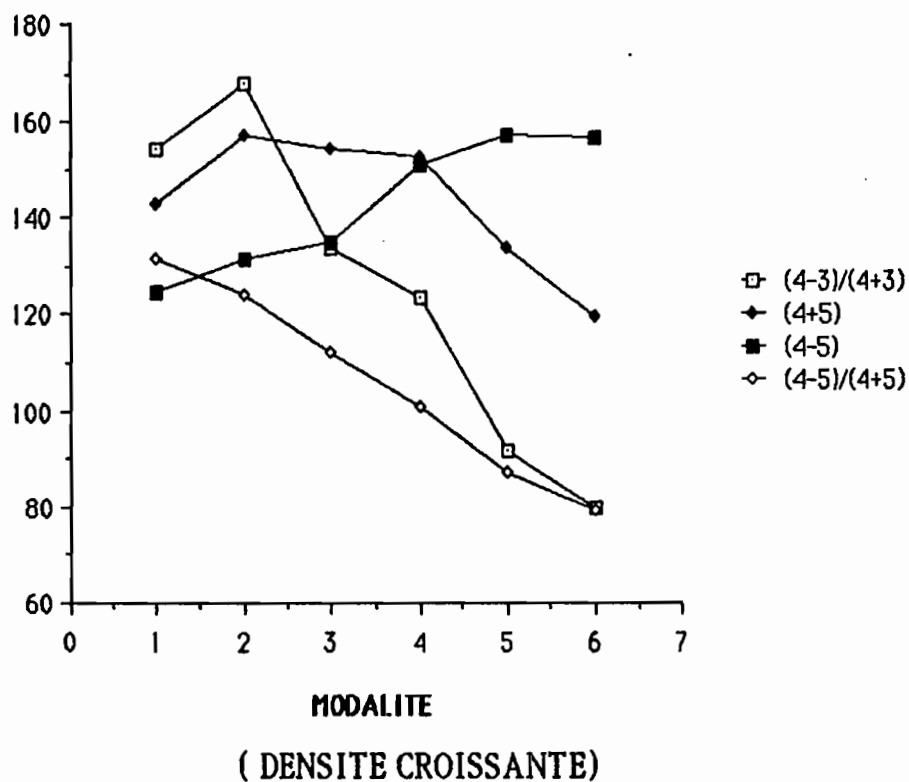


Figure I.3 - Histogramme bidimensionnel du canal TM 4 et de l'indice de végétation par modalité -



55

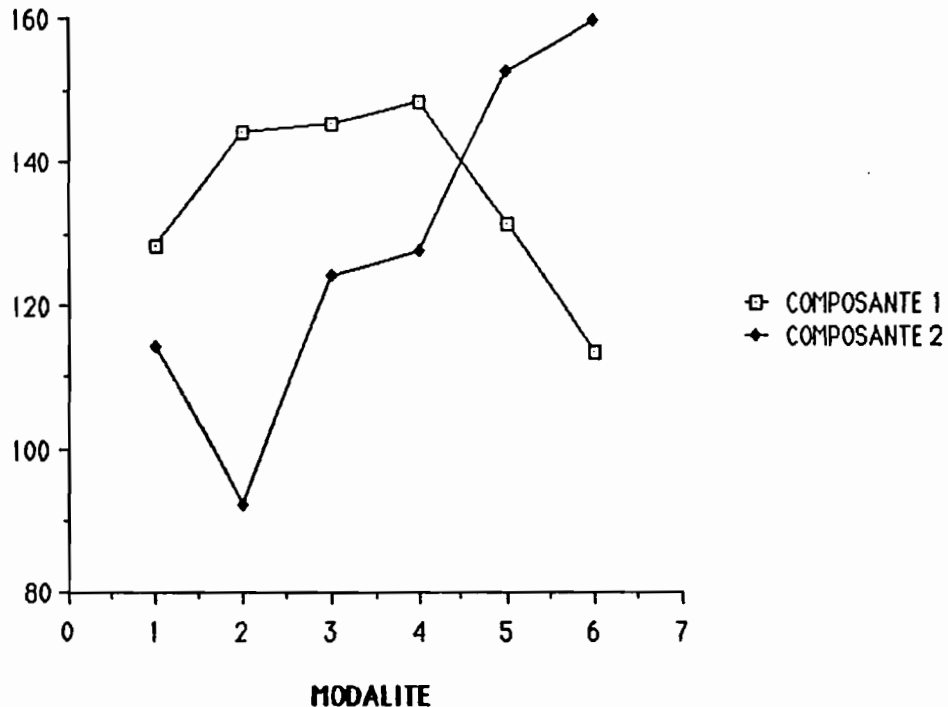
Figure I.5 - Variation des néo-canaux en fonction des modalités -



#### I.1.4) Les composantes principales.

Compte tenu du pourcentage de variance expliqué par les deux premières composantes (94,4%), elles seules ont été retenues pour une étude plus approfondie.

Figure I.6 - Variation des composantes principales par modalité-



Ce graphique confirme ce que nous avons constaté visuellement, à savoir que la deuxième composante principale est liée à la densité du bâti, c'est donc un néo-canal à conserver. Cependant, nous constatons que le minimum se situe une nouvelle fois dans la modalité TRES FAIBLE (comme pour l'indice de végétation) et non dans la modalité NON BATI. Il apparaît donc une sorte d'anomalie qu'il nous appartiendra d'expliquer lors de l'analyse de l'échantillon de travail.

Les écarts-type intra-modalités demeurent très importants.

### Conclusions partielles.

Le mode de rééchantillonnage choisi (+ou- 2 écarts-type) induit une distribution des différents indices ou indicateurs spatiaux quasi normale. L'analyse des coefficients de forme pour chacune des modalités indique que cette distribution est respectée mis à part le cas de la modalité TRES FORTE qui présente une distribution dissymétrique importante vers les fortes valeurs ainsi qu'un pic au niveau de la moyenne (voir Tableaux en ANNEXE I).

L'enseignement que l'on peut tirer de l'analyse de ces néo-canaux est de chercher à discriminer d'une part le NON BATI, d'autre part les zones de densité modeste, et enfin les densités importantes. Les valeurs des densités

permettant de seuiller avec efficacité ces 3 ou 4 "macro modalités" restent à déterminer.

Aucun "indice miracle" n'est apparu lors de cette analyse; la combinaison de plusieurs de ces indices semble donc une des voies les plus engageantes.

Les récentes publications à propos d'études urbaines font mention de l'intérêt qu'il faut porter à la texture qui apparaît comme un indicateur discriminant les modes d'occupation du sol efficacement. C'est donc à l'étude de la texture dans les zones homogènes (modalités) que nous avons consacré la deuxième partie de ce paragraphe

## I.2) Etude sommaire de la texture des zones morphologiquement homogènes.

Compte tenu des résultats obtenus dans la partie précédente, l'étude de la texture des différentes modalités du descripteur DENSITE DU BATI paraît indispensable. Visuellement, les principales caractéristiques des structures de différents quartiers typés (centre ville dense, pavillonnaire lâche dans le Sud, ou grands ensembles en barres en périphérie Nord-Est) se remarquent sur les compositions colorées. Est-il possible de quantifier cette texture à l'aide d'un opérateur spatial performant ?

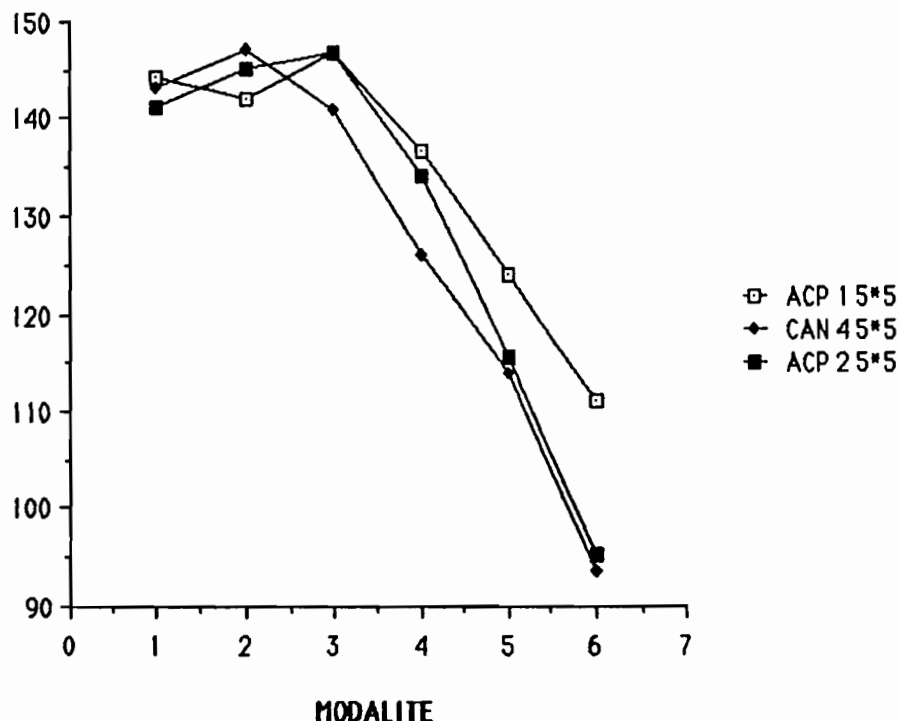
### I.2.1) L'écart type local et la moyenne locale.

Nous avons testé des opérateurs locaux, (écart type et la moyenne), en les calculant sur des fenêtres de tailles différentes ( 3 et 5), sur des fichiers différents (canal 4, première et deuxième composantes principales) et en les rééchantillonnant différemment. Ces deux opérateurs ont des fonctions très différentes: la moyenne locale effectue un lissage et réduit de ce fait la variance à l'intérieur de chaque modalité (CUSHNIE J.L, 1984), (TOLL D.L., 1985), alors que l'écart-type local caractérise l'homogénéité à l'intérieur de la fenêtre de calcul.

La principale conclusion à retenir de ces opérations est qu'en règle générale, les résultats obtenus avec les différents opérateurs décroissent lorsque la densité augmente (Figure I.7). Un seuil important se situe entre les modalités FAIBLE et MOYENNE. Localement, les zones à densité importante apparaissent donc comme les plus homogènes. En outre, les fenêtres 5\*5 paraissent plus adaptées pour effectuer des convolutions sur des images en milieu urbain, compte tenu de la résolution au sol de Thematic Mapper et des dimensions des bâtiments. A la suite de nos différents tests, il apparaît clairement que la plus importante amplitude entre les modalités est obtenue en choisissant une fenêtre 5\*5.

Les écarts-type locaux calculés dans les 2 premières composantes principales indiquent une remontée pour la modalité FAIBLE où culmine le maximum des moyennes (voir Tableaux I.7 et I.11). On peut expliquer ce phénomène par l'abondance et la proximité dans les zones de modalité FAIBLE de "pixels végétaux" et de "pixels minéraux" aux réponses radiométriques opposées. L'écart-type calculé sur le canal 4 (Tableau I.8 en ANNEXE I) suit plus fidèlement les modalités de la DENSITE DU BATI. Nous notons une remontée de la moyenne dans la modalité TRES FAIBLE qui constitue le maximum absolu des différentes modalités.

Figure I.7 - Variation des écarts-type locaux en fonction des modalités -



Ces opérateurs de texture présentent une remarquable homogénéité. Les valeurs obtenues dans les différents canaux ou néo-canaux sont très proches. Nous noterons une nouvelle fois l'anomalie que constitue la modalité TRES FAIBLE qui présente le maximum pour l'opérateur de texture calculé sur le canal 4 alors qu'il présente un minimum local pour ce même opérateur calculé sur la première composante principale. Ces indices sont plus fidèlement liés au descripteur DENSITE DU BATI à partir de la modalité FAIBLE.

Comparativement au canal 4 et dans une moindre mesure au néo-canal IND1 (4-5)/(4+5), les écart-type locaux calculés sur la première composante principale sont moins liés au descripteur DENSITE DU BATI. Ces opérateurs locaux semblent peu adaptés pour résoudre notre problème, les

écarts-type résultants étant très importants (Tableaux en ANNEXE I). Cependant, ils trouveront leur intérêt lors d'une classification pour aider à classer les pixels non affectés [DUCROS-GAMBART. D et al, 1984].

Nous avons aussi testé les mêmes opérateurs de texture, mais en procédant à un réétalement de type MIN-MAX. On s'aperçoit que ces opérateurs sont moins sensibles que ceux exposés précédemment. Néanmoins, ce type de réétalement fait ressortir les transitions extrêmes (très faibles ou très fortes) qui peuvent être noyées lorsque l'on réétale la dynamique entre + ou - 2 écarts-types.

Il nous a paru plus intéressant d'étaler la dynamique autour de la valeur moyenne de l'écart-type local. Rétalement de la sorte les valeurs moyennes est préférable, quitte à regrouper les valeurs extrêmes aux bornes (1 et 255); les phénomènes que nous étudions se situent dans les valeurs moyennes.

### 1.2.2) Matrice de cooccurrences des niveaux de gris.

Le choix des matrices de cooccurrence pour caractériser la texture à l'intérieur des zones morphologiquement 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 probabiliste qui paraît bien adaptée au type de texture des images satellite comme en témoigne les nombreux auteurs qui l'ont essayée (SLIMANI M., 1986), (LAPORTE J.M., 1983), (DESACHY J., 1980).

L'inconvénient majeur de ces matrices est la perte de la localisation, c'est pourquoi nous avons précédemment testé les écarts-type locaux.

Nous avons calculé la matrice de cooccurrence des niveaux de gris, ramenés à **128 niveaux** par seuillage des valeurs extrêmes, pour chacune des 6 zones correspondant aux 6 modalités du descripteur DENSITE DU BATI. Il ne s'agit donc pas ici d'une fenêtre glissante calculant une nouvelle valeur pour chaque pixel.

La relation spatiale retenue est définie comme suit :

- distance  $d$  entre 2 pixels égale à 1.
- angle de  $\theta=0^\circ$  avec l'horizontale.

Le choix de cette relation est tout à fait arbitraire, mais il n'existe pas de direction privilégiée à l'intérieur de la zone d'étude, les divers réseaux n'ayant pas d'orientation majeure. Des essais ont été pratiqués dans les 4 directions sans différence sensible du résultat.

Nous avons décidé de choisir le canal 4 pour élaborer ces matrices compte tenu des résultats encourageants que ce canal avait obtenu dans la représentation du descripteur DENSITE DU BATI ainsi que des résultats des opérateurs locaux. Il est prévu d'opérer de la même façon avec la première

composante de la transformée de Karhunen-Loewe (analyse en composantes principales dans l'espace des 6 canaux).

### 1.2.2.1) Etude des matrices de cooccurrences .

Les matrices de cooccurrence estiment la densité de probabilité conditionnelle d'un pixel de niveau I et d'un pixel de niveau J (notée  $P_{IJ}(I,J)$ ). Les matrices exposées ne sont pas symétriques, les termes de la diagonale indiquent le nombre de pixels possédant comme voisin, au sens de la relation spatiale prédéfinie, un pixel de même valeur (noté  $P_{II}(I,I)$ ). On comprend donc qu'une texture fine sera représentée par une matrice où prédominera l'équiprobabilité (matrice pleine) alors qu'à l'inverse, une texture grossière présentera un regroupement des valeurs de cooccurrences autour de la diagonale (matrice diagonale).

La comparaison des matrices calculées dans les zones de même densité suscite quelques remarques d'ordre général :

- la taille des matrices (éléments non nuls uniquement) s'accroît lorsque la densité diminue. La texture est donc plus uniforme pour les zones de forte densité

- un histogramme de distribution des termes de la diagonale principale montrerait l'existence de pics multiples. On remarquera que les cooccurrences de faibles niveaux de gris croissent brusquement vers le maximum alors que celles de fortes valeurs de niveaux de gris décroissent plus doucement. On peut en déduire l'existence de sous-zones homogènes caractérisées par des niveaux de gris très proches :

- \* 18-22 pour la modalité très fortement bâti

- \* 20-24 pour la modalité fortement bâti

- \* 22-34 pour la modalité moyenne

- \* 26-32 pour la modalité faible

- \* 26-34 pour la modalité très faible

- \* 4 pics à 11, à 22, à 26 et à 30 pour la modalité non bâti. Une première conclusion s'impose; les modalités définies lors du découpage morphologique ne correspondent pas à la distribution spatiale des valeurs radiométriques du canal 4. En effet au vu de ces matrices de cooccurrences, on serait tenté de définir 2 classes de radiométrie pour décrire le bâti :

- [18,24] forte densité.

- [25,34] faible densité.

Nous avons généré 6 matrices de cooccurrences sous forme d'images 128 lignes par 128 colonnes en fausse couleur (voir Photo I.1); nous avons donc obtenu une image par modalité. Le nombre de cooccurrences est symbolisé par une couleur. Cette couleur tend d'autant plus vers le rouge que le nombre de cooccurrences est important. A

l'inverse, une couleur à dominante bleue représentera un nombre de cooccurrences peu élevé.

HARALICK a défini 14 paramètres calculés à partir des matrices de cooccurrences, LAPORTE a montré que certains d'entre eux sont très corrélés aussi nous n'en avons retenu que 5 pour caractériser de façon synthétique les zones représentant les différentes modalités (Tableau I.12).

\* Le centre de gravité de la matrice de cooccurrence.

$$\text{FORMULE } \sum_{i,j} p_{d,\theta}(i,j)$$

\* Le moment angulaire du second ordre augmente lorsque la texture devient plus homogène; seule la modalité TRES FORTE se détache des autres modalités de façon sensible. A l'opposé, les valeurs de ce paramètre pour les zones les moins denses témoignent d'une texture très chahutée (la valeur de ce paramètre a été multipliée par  $10^6$  dans le tableau présenté en ANNEXE I).

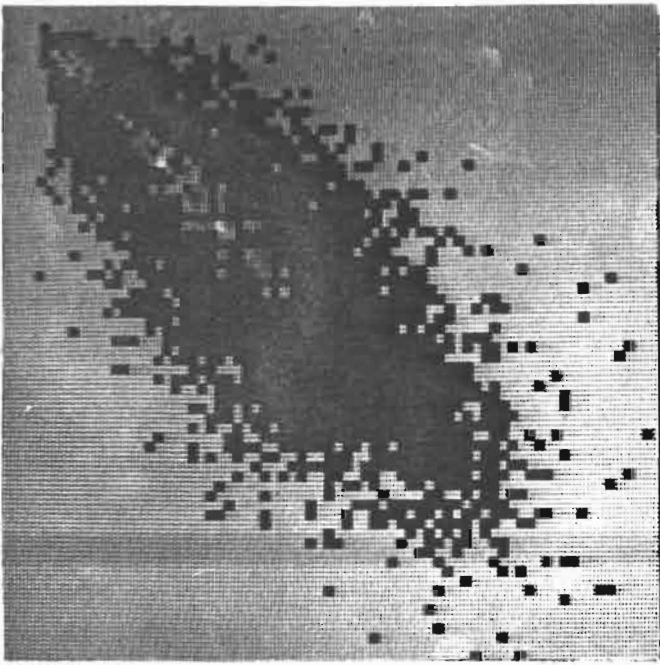
$$\text{FORMULE } \sum_{i,j} p_{d,\theta}(i,j)^2$$

\* Le degré d'organisation du nuage (ou entropie) mesure le désordre de la texture, sachant que ce désordre est maximum ( $-2 \cdot \log 128$ ) lorsque la distribution est équiprobable (cas d'une texture très fine). Il n'est donc pas surprenant de constater que c'est la modalité NON BATI qui se rapproche le plus de cet état.

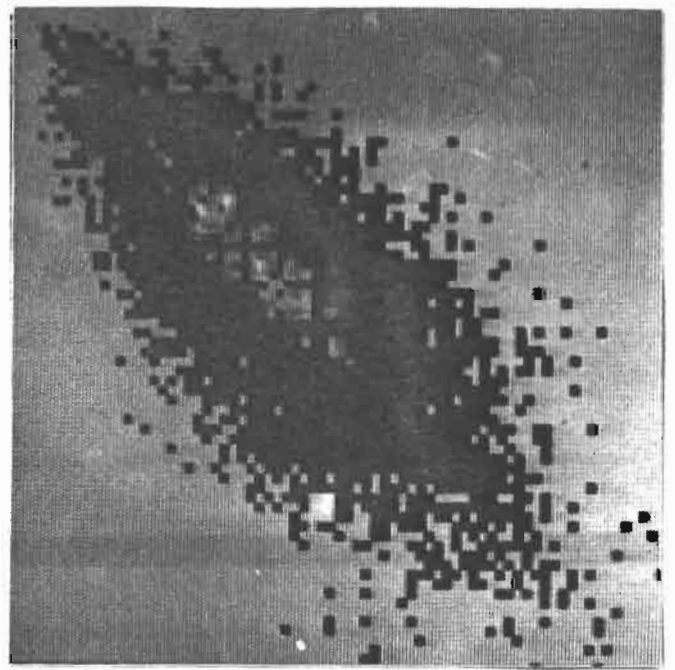
$$\text{FORMULE } -\sum_{i,j} p_{d,\theta}(i,j) \times \log p_{d,\theta}(i,j)$$

\* L'homogénéité locale (ou moment inverse des différences) mesure l'importance de plages locales d'égal niveau de gris dans l'image. Comme sa formule l'indique, ce paramètre favorise les termes situés sur la diagonale principale et il tend vers sa valeur maximale (1) lorsque les cooccurrences se regroupent sur cette diagonale. La modalité TRES FORTE présente donc les plages d'équidensité de niveaux de gris les plus étalées et les plus proches de la diagonale.

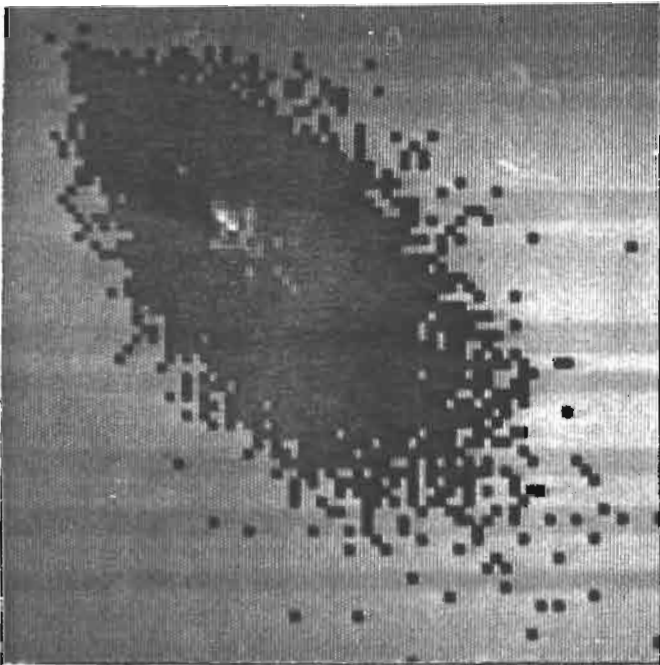
$$\text{FORMULE } \sum_{i,j} p_{d,\theta}(i,j) / (1+(i-j)^2)$$



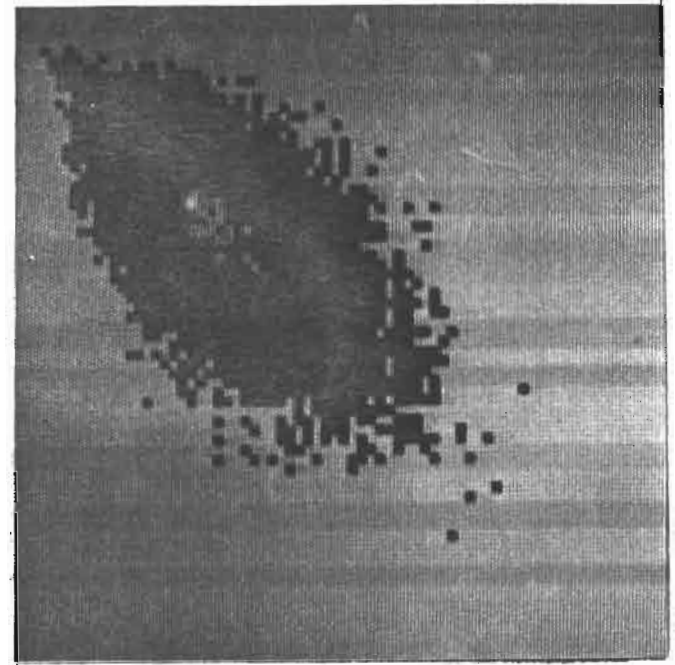
Modalité NON BATI



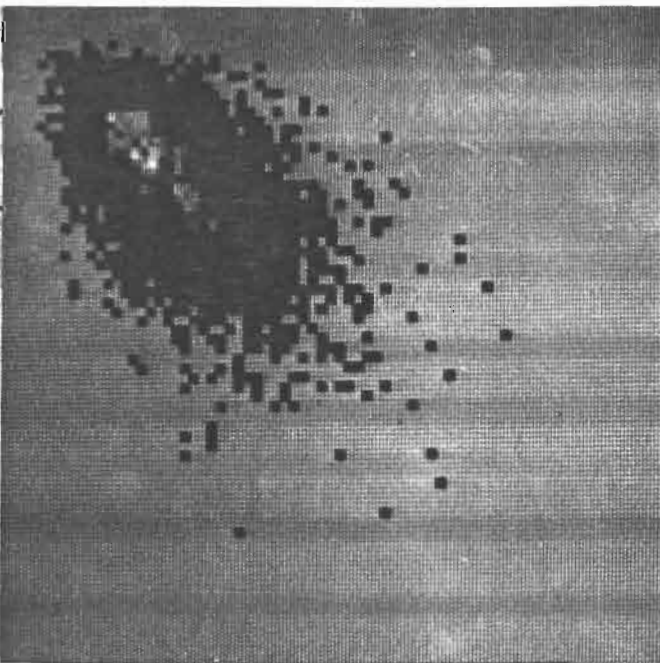
Modalité TRES FAIBLE



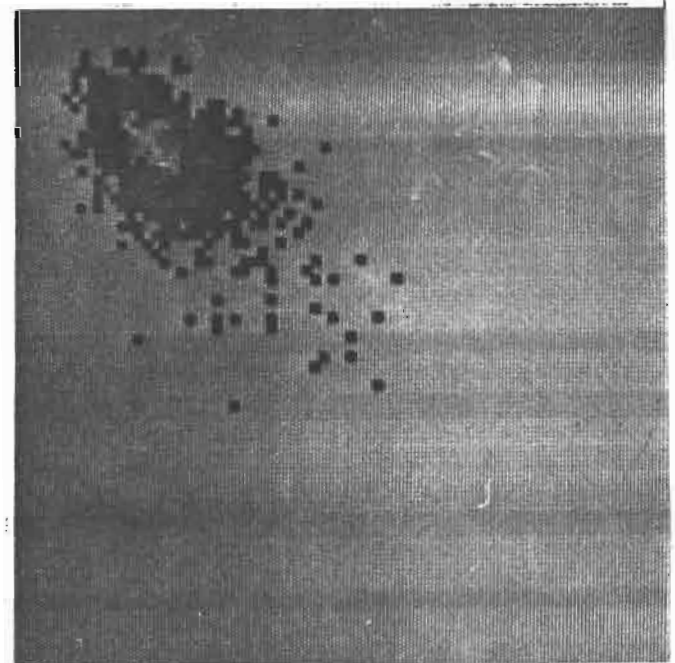
Modalité FAIBLE



Modalité MOYENNE



Modalité FORTE



Modalité TRES FORTE

\* L'inertie mesure l'étalement du nuage par rapport à la diagonale principale. Une modalité diffère nettement des autres, le très fortement bâti qui présente la plage de niveaux de gris la plus compacte.

$$\text{FORMULE } \sum_{i,j} (i-j)^2 \times P_{d,\theta} (i,j)$$

Le Tableau I.12 ci-dessous des paramètres extraits des matrices de cooccurrences nous permet une nouvelle fois de constater que les trois premières modalités sont très proches, que la modalité MOYENNE recouvre un tissu urbain très diversifié, et que la modalité TRES FORTE est la plus homogène.

Tableau I.12 - Statistiques descriptives par modalité : Paramètres extraits des matrices de cooccurrences -

MOD	CENTRE DE GRAVITE DU NUAGE	SECOND MOMENT ANGULAIRE	ORGANISATION DU NUAGE	HOMOGE LOCALE	INERTIE
1	31.24	1945	2.89	0.281	35.22
2	35.20	1788	2.91	0.235	41.49
3	31.38	2608	2.79	0.237	36.32
4	30.50	3569	2.68	0.259	29.61
5	25.14	4544	2.53	0.275	24.10
6	22.00	9835	2.21	0.326	14.17

#### Conclusions partielles.

A l'issue de l'étude des néo-canaux, nous en retiendrons deux qui paraissent les plus discriminants : l'indice de végétation (IVG) et l'indice  $(TM4-TM5)/(TM4+TM5)$  qui sera noté IND1 dans la suite de ce travail. Par ailleurs, l'écart-type local calculé sur le canal TM4 est l'opérateur spatial à retenir en priorité.

L'étude des matrices de cooccurrences, nous apprend qu'un seuillage semble possible sur le canal TM 4. Il faudra en préciser les bornes lors de l'étude de l'échantillon de travail.

## II) ENQUETE. STATISTIQUES SUR LES ILOTS DE L'ECHANTILLON DE TRAVAIL.

### Introduction.

II.1) Principe de tirage des îlots de l'échantillon.

II.2) L'enquête sur le terrain.

II.3) L'analyse des photographies aériennes.

II.3.1) Superposition des images générées par TIGER.

II.3.2) La fiche de saisie. La méthode de calcul. les mesures.

II.3.3) Les problèmes d'interprétation des photographies aériennes.

II.4) Comparaison des surfaces calculées à partir de différentes sources.

II.5) Statistiques sur la densité du bâti.

II.5.1) Histogramme des fréquences du coefficient densité du bâti.

II.5.2) Répartition du coefficient de densité du bâti par modalité.

### Conclusions partielles.

Nous avons décidé de fabriquer un échantillon de travail, ou d'initialisation, afin de pouvoir interpréter et évaluer sur l'image satellite un certain nombre de critères pertinents pour estimer la densité du bâti. Travailler sur un tel échantillon dans lequel sont représentés tous les types de bâti et dans lequel la représentativité de la densité du bâti est conservée est l'unique méthode cohérente. Seule une telle stratégie est apte à quantifier les relations entre radiométrie et densité du bâti, à permettre d'initialiser de façon raisonnée différents types de classifications et à valider la qualité des résultats sur une autre entité (échantillon différent).

Il est fondamental de souligner ici qu'un tel procédé de mise en correspondance (par superposition d'image) de la radiométrie et des mesures sur le terrain n'est rendu possible que grâce à l'entremise d'un système de gestion de **base de données spatialisées**. Repérer avec certitude sur l'image satellite la localisation, les limites géographiques et conserver les attributs des zones de l'échantillon sont des prestations que seul un système comme TIGRE est en mesure de fournir. Il est en effet impensable de vouloir localiser avec précision sur l'image TM seule les limites des différents îlots INSEE de notre échantillon. De plus, les regroupements par modalité des ces différents individus, issus d'un croisement thématique, impose l'utilisation d'un système de gestion de base de données performant.

### II.1) Principe de tirage des îlots de l'échantillon d'initialisation.

Les îlots appartenant à cet échantillon ont été tirés dans la base des **3466** îlots INSEE de Marseille selon la procédure suivante :

- La base de Marseille a été stratifiée selon des critères de morphologie urbaine (voir rapport intermédiaire ATP pp. 16 à 79). Neuf sous-fichiers (strates) correspondant aux neuf types morphologiques ont alors été obtenus.

- Les îlots ont été classés selon leur identifiant INSEE afin d'obtenir, lors du tirage, une dispersion géographique raisonnable.

- Le tirage des îlots de l'échantillon a été effectué de façon systématique (un pas de tirage de 44) pour chaque type morphologique.

Le taux de tirage est donc de **2,31%**. Le nombre d'îlots de l'échantillon est égal **80**.

### II.2) L'enquête sur le terrain.

Cette enquête a été effectuée par quatre membres de l'équipe et a demandé quatre jours de travail sur le terrain. En effet, malgré la très bonne qualité des photographies aériennes en notre possession, il s'est avéré nécessaire de se déplacer sur le terrain, compte tenu de la différence importante existant entre la date d'acquisition de ces photographies aériennes (1979) et celle de l'enregistrement de l'image satellite (1983). Un minimum de deux fiches décrivant l'îlot devaient être remplies :

- une fiche concernant le bâti (Figure II.1)
- une fiche décrivant les éléments non bâtis (Figure II.2).

Par ailleurs, une fiche spéciale pouvant comporter un plan de situation était prévue pour reporter les modifications importantes intervenues entre temps, en particulier pour préciser la forme et les dimensions des nouvelles constructions. Des photos au sol ont été prises pour l'aide à la description des nouveaux bâtiments ainsi que des surfaces non bâties.

Le principal enseignement que l'on a pu tirer de cette enquête a été la confirmation de l'importance prépondérante et de la richesse des photographies aériennes à l'échelle 1/8 000 qui constituent un outil indispensable pour la collecte des données de terrain en milieu urbain. Nous avons en effet constaté sur place la difficulté d'accéder aux toitures ainsi qu'à l'intérieur de certains îlots denses.

Compte tenu de la résolution spatiale et spectrale du capteur Thematic Mapper, nous pouvons considérer que cette information constitue un apport totalement exogène à l'image satellite.

Figure II.1 - Fiche descriptive du bâti -

MARSEILLE - CONTROLE TERRAIN JUIN 1986

Numéro INSEE : 543 Ro1		Photo 1/8000 : 36		DESCRIPTION DU BATI				
Numéro du bâtiment ou groupe de bâtiments correspondant au repère porté sur le plan		1	3	4	5	6		
Date de construction								
M. MESURES	Hauteur : :	1.0m	7/15m	1.7m	6.44	9		
	Emprise au sol : (Si non mesurable sur photo 1/8000)	Côté a	.....	.....	.....	.....	.....	
		Côté b	.....	.....	.....	.....	.....	
		Côté c	.....	.....	.....	.....	.....	
Côté d		.....	.....	.....	.....	.....		
TOITURE	<u>Pente du toit</u> Plat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	Avec pente (reporter le sens sur le plan)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Nombre de pans	4	4	.....	.....	∞		
	<u>Date de réfection du toit</u>	.....	.....	.....	.....	.....		
	<u>Matériau du toit</u> Tuiles : canal	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Tuiles mécaniques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Tôle : peinte (couleur)	.....	.....	.....	.....	Vert clair		
	non peinte neuve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	non peinte rouillée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Gravier	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Béton	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Goudron	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Autre (préciser)	Revêtement à humidité résistante	.....	.....	.....	.....			
Cheminées : Aucune	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	Peu nombreuses	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Très nombreuses	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
BALCONS	Sans balcon	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	<u>Balcons</u> : Balcons saillants	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Balcons non saillants	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Présence de terrasses	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	Végétation sur balcons	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

etarrond

blanc

blanc

très clair

Revêtement à humidité résistante

MARSEILLE - CONTROLE TERRAIN JUIN 1986

Numéro INSEE : 543 Ro 1      Photo 1/8000 : 36      DESCRIPTION DU NON BATI

Numéro de l'élément ou groupe d'éléments correspondant au repère porté sur le plan ou sur un croquis spécifique

Vis. Photo 18      19      20      21

E  
A  
U

V  
E  
G  
E  
T  
A  
T  
I  
O  
N

V  
O  
I  
R  
I  
E

Pente du sol :	.....	.....	/	/	.....
Présence de haies	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Présence de murs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Canal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Réservoir	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Piscine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Autre	.....	.....	.....	.....	.....
Pelouse simple	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fleurs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arbres (espèce)	.....	.....	.....	.....	.....
Arbustes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Potager	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Autre végétation (préciser)	.....	terre labourée	Sol. non	.....	.....
Bitume (couleur)	.....	.....	.....	.....	.....
Sans voitures	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avec voitures	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pavés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gravier (couleur)	.....	.....	.....	.....	.....
Ciment ou béton	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Autre (préciser)	.....	.....	.....	.....	.....

(Autour et dans l'îlot)

ro. x et

Autre type de non bâti

### II.3) L'analyse des photographies aériennes.

Nous disposons pour Marseille d'une couverture presque complète constituée par des photographies aériennes de 2 types prises à 2 dates différentes :

- photographies couleurs naturelles échelle 1/8 000 de l'IGN datant de 1979,
- photographies noir et blanc échelle 1/15 000, datant de 1981, qui recouvrent surtout la partie Nord peu bâtie.

#### II.3.1) Superposition d'images générées par TIGER.

Un report sur les photographies aériennes du contour de chacun des sous-îlots délimité sur la carte générée par TIGER issue du croisement "îlots de l'échantillon de travail" avec le descripteur DENSITE DU BATI a permis de définir les limites des 93 individus constituant cet échantillon.

Ce report n'a pas été automatique, en effet même si la superposition de 2 images est de très bonne qualité<sup>1</sup>, ponctuellement il peut apparaître un léger décalage ayant pour conséquence la génération d'un sous-îlot sans raison d'être. Par ailleurs cette opération nous a donné l'occasion de vérifier à un niveau plus fin la pertinence du découpage morphologique. Vus à l'échelle 1/8 000, certains découpages d'îlots opérés à l'échelle du 1/23 000 ne se justifient plus. En conséquence, sur la base des 80 îlots tirés, 110 sous-îlots ont été générés par croisement avec le descripteur DENSITE DU BATI, et 93 individus ont été finalement retenus résultants de la fusion de quelques "sous-îlots factices".

#### II.3.2) La fiche de saisie (Figure II.3) . La méthode de calcul. Les mesures.

La mise au point de la fiche de saisie est le fruit de la concertation avec les autres membres de l'équipe. Les différents descripteurs analytiques retenus pour caractériser la morphologie du tissu urbain doivent pouvoir être déduits des différentes mesures présentées dans cette fiche. Par ailleurs, le calcul de la densité du bâti dans les sous-îlots de l'échantillon sera utilisé pour étudier les relations bâti / population. De ce fait un passage entre différents fichiers de données devait être aménagé au moyen d'identifiants adaptés.

<sup>1</sup> Au maximum 1 pixel de décalage a été constaté lors des tests de superposition d'une image TIGER sur une image TM

N° ilot INSEE 5|0|4|C|0|9 N° sous-ilot 6|2|6|1 N° zone morpho 2|6|1

N° photo. aérienne 1|5|2 N° carte ICOREM : 6|0|6|1 Echelle (en 1000) 8

N° attribut Tigre 2 8 9 10 11 12 21 22 23 24 25  
 Modalité : 5 4 2 3 5 4 1 3 4 4 8

Surface TIGER m2(module surface) : 1|4|7|4|9 Surface STADEA (m2) 1|4|0|0|6

Surf. ilot(mm²) 3|2|5 m2 1|4|4|0|0

**BATI :** Total (mm2) 1|3|4

**COULEUR TOITS**

Brique				4
Marron foncé			2	8
Blanc				
Gris				3
Noir				
Autre				

**STRUCTURE**

				3
			2	7
				4
Autre				

Cheminées 3

(Aucune =1, peu nomb. =2, très nomb.=3)

**Hauteur du bâti**

Rdc et Rdc+1				8
Rdc+2 à Rdc+4 inclus				4
Rdc+5 à Rdc+7 inclus			1	9
Rdc+8 et plus				

**PENTES**

Pente du toit 3 (sans pente 0, N/S 1, E/W 2, NE/SW 3, NW/SE 4)

Pente du sol 1 (Aucun 1, Faible 2, Forte 3)

**NON BATI** Total (mm2) 1|9|1

Eau     

**Végétation**

Herbe			2	0
Arbres			7	3
Terr. nue clair.			1	0
Terr. nue fon.				
Autre				

**Voirie**

Bitume			1	0
Béton				
Gravier			7	8
Pavés				
Autre				

**Voitures**

(Aucune =1, peu nomb. =2, très nomb.=3) 2

Bande 1|2|0 m2 7|6|8|0

15m(mm2) **BATI :** Total (mm2) 5|3

**COULEUR TOITS**

Brique				2	8
Marron foncé					
Blanc				2	5
Gris					
Noir					
Autre					

**STRUCTURE**

				2	5
				2	8
Autre					

Cheminées 2

(Aucune =1, peu nomb. =2, très nomb.=3)

**Hauteur du bâti**

Rdc et Rdc+1					
Rdc+2 à Rdc+4 inclus					
Rdc+5 à Rdc+7 inclus					
Rdc+8 et plus					

**PENTES**

Pente du toit 3 (sans pente 0, N/S 1, E/W 2, NE/SW 3, NW/SE 4)

Pente du sol 1 (Aucun 1, Faible 2, Forte 3)

**NON BATI** Total (mm2) 6|7

Eau     

**Végétation**

Herbe					
Arbres					
Terr. nue clair.					
Terr. nue fon.					
Autre					

**Voirie**

Bitume				6	7
Béton					
Gravier					
Pavés					
Autre					

**Voitures**

(Aucune =1, peu nomb. =2, très nomb.=3) 2

Longueur de l'élément bâti majoritaire (mm)      5

Largeur de l'élément bâti majoritaire (mm)      2

Cette fiche, une pour chaque individu de l'échantillon, est présentée à la page suivante. Elle se compose de 3 parties principales :

- A) les identifiants et les descripteurs
- B) les mesures à l'intérieur de l'îlot
- C) les mesures à l'intérieur d'une bande de 16 mètres entourant l'îlot.

Les différentes mesures effectuées et reportées sur ces fiches ont été calculées comme suit.

En ce qui concerne les variables quantitatives, nous avons superposé un plastique transparent carroyé et millimétré sur les photographies aériennes. Les différents modes d'occupation du sol présents à l'intérieur du sous-îlot, répertoriés dans une nomenclature pré-définie (voir paragraphes suivants), ont été mesurés en millimètres carrés puis ventilés dans le poste approprié.

Les variables qualitatives ont été estimées par comparaison à un référentiel pré-établi et affectées à la modalité la plus proche.

Dans le même temps, il a été nécessaire de consulter les fiches remplies lors de l'enquête sur le terrain afin de tenir compte des éventuels changements d'affectation du sol et de préciser la nature des différents éléments bâtis ou non.

#### A) Les identifiants

Chaque sous-îlot est repéré par son **N° INSEE** (alphanumérique) et un **N° de SOUS-ILOT** (numérique) qui permet de l'identifier, un certain nombre de logiciels de calcul statistique n'acceptant pas les identifiants alphanumériques. Sa **zone morphologique** d'appartenance est indiquée ainsi que sa **modalité de référence** pour chacun des descripteurs retenus. La connaissance de ces indicateurs permet un regroupement immédiat des sous-îlots homogènes pour un descripteur donné et facilite donc une quantification et une analyse statistique des modalités. Dans une optique plus pragmatique, nous avons réservé un emplacement pour y noter le **N° de la photographie aérienne** couvrant l'îlot, ainsi que le **N° de la carte ICOREM** à laquelle éventuellement se reporter.

#### B) Les indicateurs à l'intérieur des sous-îlots.

Ces indicateurs, essentiellement des mesures (nombre de mm<sup>2</sup> constatés), se distribuent en deux parties :

- \* **Le bâti.** Il est caractérisé par 3 indicateurs :
  - la couleur dominante du toit en 6 postes (brique, marron foncé, blanc, gris, noir et autre couleur)
  - la structure des éléments constitutifs du toit (plat, type tuile canal, type tuile mécanique, type tôle ondulée, autre type)

- la hauteur du bâti répartie en quatre postes (RDC à RDC +1, de RDC + 2 à RDC + 4, de RDC + 5 à RDC + 7, RDC + 8 et plus)

En outre sont estimés la présence de cheminées, la présence régulière de voitures, et des indications sur la pente du toit (en 5 modalités de direction majoritaire) et du sol ( en 3 modalités d'intensité de pente)

La somme des  $\text{mm}^2$  faite à l'intérieur de chacun de ces 3 indicateurs est égale à la surface qu'occupent les éléments bâtis de l'îlot.

\* **Le non bâti.** Il est ventilé en 2 postes :

- végétation (herbe, arbres, terre nue claire, terre nue foncée, autre)

- voirie (bitume, béton, gravier, pavé, autre)

La somme des rubriques de ces 2 postes est égale à la surface du non bâti. La somme du bâti et du non bâti est égale à la surface totale de l'îlot.

### C) les mesures à l'intérieur d'une bande de 16 mètres entourant l'îlot.

Il nous a semblé qu'il était nécessaire, **concernant un individu spatialisé**, de tenir compte d'une bordure lorsque l'on met en relation une statistique radiométrique avec une statistique produite par une vérité terrain. Cette marge qui représente ici 16 mètres, soit légèrement plus de la moitié de la dimension d'un pixel TM, se justifie car il est peu probable que le découpage de l'image TM en pixels respecte celui décidé par l'INSEE !

Les différents postes ventilant ces mesures sont identiques à ceux décrits précédemment. Nous noterons qu'une partie importante des surfaces relevées concernent la voirie et son environnement (arbres en particulier).

Nous avons également réservé un emplacement pour indiquer quelles sont les dimensions (largeur, longueur) du bâtiment majoritaire de l'îlot.

Cette nomenclature a fait l'objet d'un soin tout particulier. Elle résulte des constatations consignées sur le terrain quant à la fréquence d'apparition des différentes couleurs des matériaux, des différentes structures des matériaux ainsi que des différents seuils pertinents de hauteur des bâtiments.

L'importance de la relation entre le non bâti et la localisation de l'îlot n'est pas non plus absente de notre réflexion. Un espace de verdure en centre ville et son homologue en périphérie n'ont pas la même signification lorsque l'on s'intéresse au mode d'occupation du sol et à la composition socio-professionnelle des habitants qui y résident.

Pendant l'élaboration de cette nomenclature, nous avons également tenu compte de la possibilité de l'utiliser pour servir de clef d'interprétation lors de l'analyse visuelle de l'image satellite.

### II.3.3) Les problèmes d'interprétation des photographies aériennes.

L'interprétation des photographies aériennes pose aussi un certain nombre de points délicats. Tout d'abord, si la distinction entre bâti et non bâti est relativement facile à discerner dans les quartiers pavillonnaires, elle l'est beaucoup moins dans le centre ville où il est ardu de séparer les cours intérieures des immeubles bas. En règle générale, les espaces cimentés non construits ne tranchent pas sur les toits en terrasse des immeubles principalement recouverts de graviers blancs. Seule l'ombre permet parfois de lever l'ambiguïté.

D'autres éléments entretiennent le doute. Par exemple les serres qui ne se détachent pas toujours du milieu sur lequel elles sont élevées, ou bien les allées couvertes d'une toiture de béton que l'on ne distingue pas toujours de façon nette.

Les photographies prises sur le terrain se sont révélées précieuses pour discriminer les différents types de non bâti dont la reconnaissance n'est pas toujours évidente, en particulier lorsque l'on se penche sur une photographie aérienne noir et blanc à petite échelle. Une confusion est souvent faite entre les espaces pavés et les espaces bitumés d'une part et entre les espaces recouverts de béton et ceux recouverts de graviers. Les photographies prises lors de l'enquête sur le terrain sont alors indispensables pour décider de l'affectation des  $\text{mm}^2$  litigieux.

#### II.4) Comparaison entre les surfaces des îlots INSEE de l'échantillon obtenues sur l'image satellite et celles issues des photographies aériennes.

Il n'a pas été possible de comparer les surfaces issues du calcul du module *SURFACE* de TIGER avec celles obtenues sur photographies aériennes au 1/8 000, car les surfaces estimées par TIGER ont été calculées sur les îlots entiers et non les sous-îlots (croisement des îlots avec la DENSITE DU BATI).

Une régression linéaire simple a été testée entre la surface calculée sur l'image Thematic Mapper et celle calculée sur photographies aériennes (échelle 1/8 000 ou 1/15 000). Les résultats obtenus confirment une bonne estimation de la surface calculée sur l'image satellite puisque la précision obtenue est de 10%; les surfaces issues de l'image TM (taille des pixels d'origine 30 m agrandie par zoom à 7,5m) étant en majorité légèrement supérieures à celles issues du calcul sur photographies aériennes.

La surface la plus fiable est celle produite par comptage des pixels sur l'image satellite, car celle estimée sur photographie aérienne est entachée d'une erreur induite par 2 facteurs :

- l'imprécision due à la difficulté de limiter l'îlot en particulier si celui-ci est segmenté en plusieurs sous-îlots; les contours des sous-îlots sont quelquefois très accidentés, et il est alors difficile d'évaluer

précisément la surface de ces derniers. De plus, le report des limites des zones homogènes (au sens de la densité) sur les îlots est approximatif en particulier pour les grandes zones très peu denses du Nord.

- les échelles des photographies aériennes (1/8 000 et 1/16 000) ne sont pas constantes suivant que l'on se situe au centre ou à l'une des extrémités de la photo (ce problème ne se pose pas pour l'image satellite qui a été redressée). Par ailleurs, le fait de travailler à deux échelles différentes ne favorise pas l'homogénéité des calculs.

Cependant ces imprécisions ne sont pas constantes et quelques îlots se caractérisent par un écart plus important. Il s'agit des îlots suivants:

N° INSEE	N° SS ILOT	ECART
506B01	7	-20%
534A02	39	-27%
543R01	47	24%
555C02	58	32%
596H09	86	108%
599E02	89	330%

Dans les deux derniers cas, ces écart énormes sont à imputer à l'image générée par TIGER et en particulier à des lignes parasites qui seront prochainement corrigées.

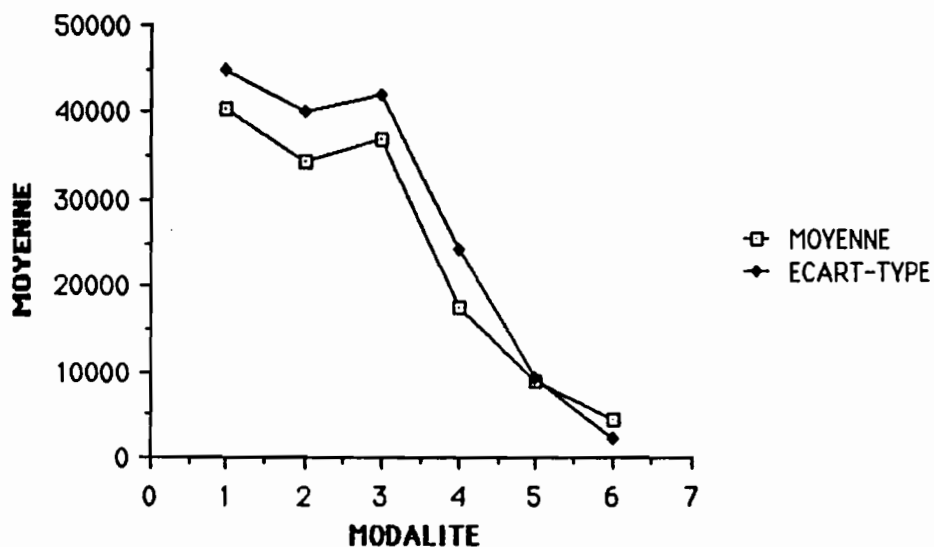
Tableau II.1 - Statistiques sur la taille des ilots échantillon par modalité -

CDV : Coefficient De Variation obtenu en divisant l'écart-type par la moyenne.

Ces valeurs sont données en m<sup>2</sup>.

MODALITE	TAILLE		
	Moyenne	Ecart-type	CDV
NON BATI	40573	44967	111
T. FAIBLE	34357	40258	117
FAIBLE	37082	42082	113
MOYENNE	17469	24245	139
FORTE	9033	9367	104
T.FORTE	4346	2118	49

Figure II.4 - Graphique des tailles des sous-ilots par modalité -



Quelques commentaires :

- en moyenne la taille des ilots décroît lorsque leur densité augmente, les coefficients de variation, qui sont ici plus révélateurs que les

écarts-type, ont tendance à diminuer de façon inverse à la densité. On remarquera la grande hétérogénéité de la taille des îlots dans la modalité MOYENNE.

- on notera l'existence d'un maximum local occasionné par la modalité FAIBLE, cela semble dû à l'effectif important de cette modalité.

### II.5) Statistiques sur le coefficient densité du bâti.

Ce coefficient a été obtenu en divisant la surface bâtie du sous-îlot par sa surface totale. Il a ensuite été multiplié par 100 et se conçoit donc en **pourcentage de surface bâtie**.

#### II.5.1) Etude de la distribution du coefficient densité du bâti

La Figure II.5 fait apparaître une distribution de moyenne **44.00**, d'écart-type **32.00** et de médiane **38.00**. Compte tenu des différents pics et creux de la distribution, nous pouvons la scinder immédiatement en 4 classes disjointes :

- de 0 à 5
- de 10 à 35
- de 45 à 55
- de 70 à 95

Cette partition en 4 classes semble correspondre à une réalité urbaine imputable à un règlement d'urbanisme.( zonage). Quoiqu'il en soit, la classe allant de 70 à 95 paraît difficile à segmenter en 2 pour obtenir nos 2 classes initiales les plus denses (FORTE et TRES FORTE). De même, la séparation entre nos 2 classes initiales FAIBLE et MOYENNE paraît délicate. Au vu de l'histogramme de la Figure II.5, la partition de la base en 6 modalités ne semble pas pouvoir être justifiée.

### III) LES REGRESSIONS.

#### 1) Régressions dans les sous-îlots.

1.1) Matrices des corrélations.

1.2) Régressions simples, multiples et polynomiales.

1.3) Etude des résidus.

A la suite des résultats obtenus précédemment, nous avons consacré ce paragraphe à l'évaluation du pouvoir de discrimination des différents indices à l'aide de corrélations. Ces coefficients de corrélation calculés entre le coefficient de densité du bâti ou les coefficients de densité de la couleur dominante des toitures et les canaux, néo-canaux ou opérateurs spatiaux déterminent les régressions à tester.

Ces régressions simples, multiples ou polynomiales tentent d'expliquer le mieux possible le **coefficient de densité du bâti** en fonction des indices les plus adaptés. Il s'agit de l'indice de végétation (IVG), du néo-canal  $(TM4-TM5)/(TM4+TM5)$  noté IND1 et de la première composante principale notée ACPI. Seules sont présentées ici les régressions les plus performantes.

Deux parties structurent ce paragraphe; les régressions effectuées sur la base du coefficient de densité du bâti calculé à l'intérieur des sous-îlot et celles effectuées en considérant le sous-îlot et l'occupation du sol sur une bande de 16 m l'entourant. Ce dernier coefficient intègre dans son calcul une bordure de largeur égale à la moitié de la dimension d'un pixel Landsat TM. Il est en effet évident que les pixels de Landsat TM qui ont été pris en compte lors du calcul de la moyenne radiométrique d'un sous-îlot ne recouvrent pas uniquement ce sous-îlot, mais qu'ils en débordent. De plus, les valeurs des pixels situés en bordure d'un sous-îlot sont affectées par le type de revêtement bordant l'îlot. Cette dernière partie a cependant été reléguée en ANNEXE PAR III afin d'alléger ce paragraphe. Tenir compte de cette bande supplémentaire ne fait à première vue pas apparaître d'éléments nouveaux susceptibles d'améliorer notre connaissance de l'image satellite, contrairement à ce que nous avons pu espérer.

1) Régression entre les canaux brutes de TM, les néo-canaux, les indices de texture et les coefficients de densité du bâti dans les sous-îlots.

1.1) Matrice des corrélations à l'intérieur des sous-îlots.

Notes sur la signification des abréviations utilisées.

ACP1 : première composante principale normée

ACP2 : deuxième composante principale normée

IVG : indice de végétation

IND1 : néo-canal (TM4-TM5)/(TM4+TM5)

TEX1 : écart-type local fenêtre 5\*5 sur le canal TM4

TEX2 : écart-type local fenêtre 5\*5 sur la deuxième composante principale normée

Tableau III.1 - Les corrélations à l'intérieur des sous-îlots -

	BATI	BRIQUE	MARRON	BLANC	GRIS	NOIR
CAN1	-.226	-.163	-.335	-.036	<b>.345</b>	.093
CAN2	-.331	-.159	-.398	-.109	.239	.093
CAN3	-.238	-.030	-.335	-.149	.158	.061
CAN4	-.702	-.308	<b>-.497</b>	-.252	-.116	-.036
CAN5	-.407	-.067	-.366	-.169	-.101	.004
CAN7	-.045	.142	-.134	-.210	.052	-.009
ACP1	-.459	-.102	-.443	-.222	.028	.061
ACP2	.586	.130	.362	<b>.337</b>	.314	.044
IVG	<b>-.720</b>	-.344	-.405	-.240	-.254	-.063
IND1	-.583	<b>-.529</b>	-.220	-.022	-.030	-.029
TEX1	-.510	-.419	-.223	-.077	.034	.097
TEX2	-.542	-.411	-.312	-.071	.086	.042

Commentaires.

L'indice de végétation est de tous les canaux et néo-canaux celui qui est le plus corrélé avec le coefficient de densité du bâti. Compte tenu de son coefficient de corrélation négatif, **une densité est d'autant plus forte**

**que cet indice est faible**, ce qui était tout à fait prévisible. Exception à noter, la deuxième composante principale est corrélée certes plus faiblement, mais positivement avec la densité du bâti.

Les indices de texture TEXT1 (écart-type local calculé sur le canal 4), et TEXT2 (écart-type local calculé sur la deuxième composante principale) ne sont que peu corrélés avec la densité du bâti.

Après analyse de ce tableau, il paraît difficile de tenter une régression quelconque entre la densité des couleurs des toits (en pourcentage de présence) et la moyenne radiométrique des différents canaux et indices. Seuls, les toits de couleur orange-brique conservent une chance non négligeable d'être discriminés. Cependant, la mise en évidence des critères de couleur ou de texture des matériaux qui constituent les toitures nécessite de travailler sur un sous-fichier de l'échantillon dans lequel ne seront retenus que les individus ayant une densité de bâti supérieure à la moyenne. De même, l'étude du non bâti se fera dans un sous-fichier constitué par des individus de faibles et très faibles densités. La moyenne déterminée dans le paragraphe II.2.1, paraît être la valeur apte à partager efficacement ces deux sous-ensembles.

### 1.2) Régressions simples, multiples et polynomiales dans les sous-îlots.

Nous avons sélectionné dans le Tableau III.2 les meilleures régressions parmi l'éventail de toutes les combinaisons cohérentes (méthode de régressions pas à pas).

Précision : **SCE** résiduel estime la Somme des Carrés des Ecarts.

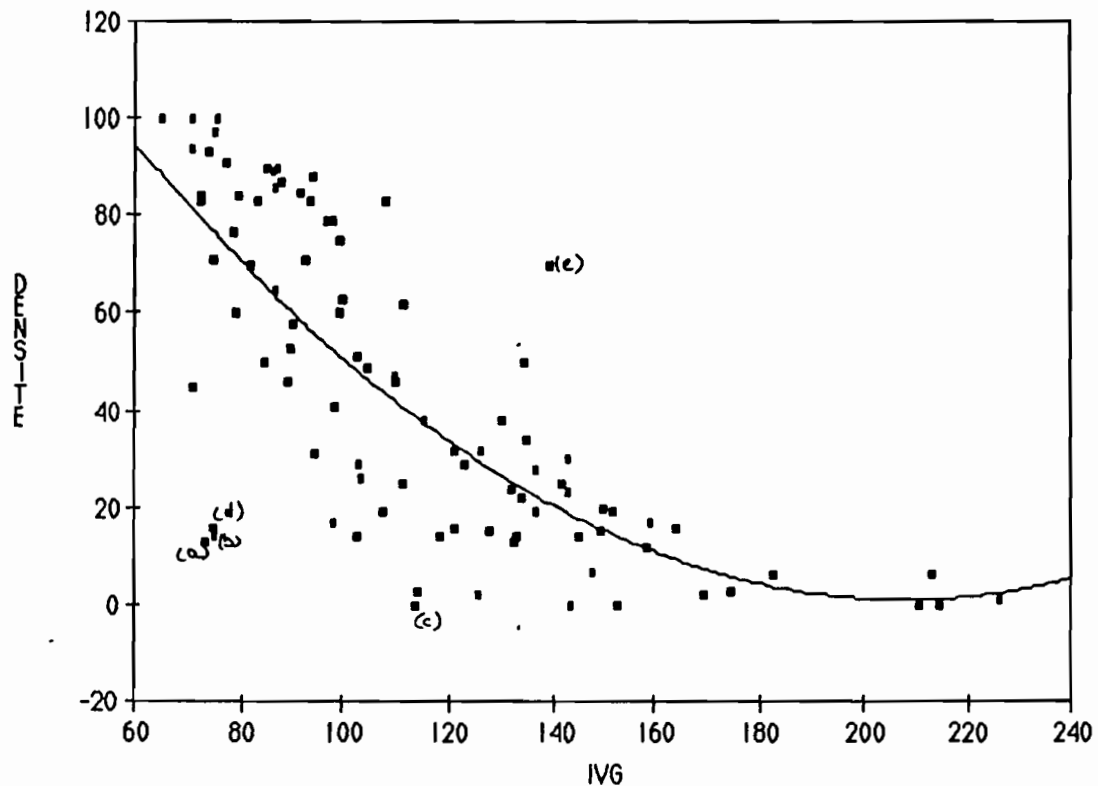
se partage entre de la végétation (arbres et herbes) ,de la terre nue, et du bitume(27%). De plus on note la présence importante d'ombres résultant de la grande hauteur des bâtiments. Tous ces éléments contribuent à une moyenne de réflectance basse pour cet îlot et donc à une densité calculée importante.

A l'issue de cette brève étude des résidus de la régression simple, nous pouvons dégager les 2 facteurs principaux perturbant la régression entre l'indice de végétation et la densité du bâti. Il s'agit du **bitume** et des **ombres** qui possèdent tous deux des réponses radiométriques faibles pour l'indice de végétation et donc biaisent l'estimation de la densité en la surestimant (tous les résidus sont négatifs).

### 1.3.2) Régression polynomiale BATI/IVG.

Le graphique précédent nous incite à tester une régression de degré 2 afin de mieux adapter la courbe théorique à la représentation graphique des sous-îlots.

Figure III.2 - Graphique de la régression polynomiale BATI/IVG -

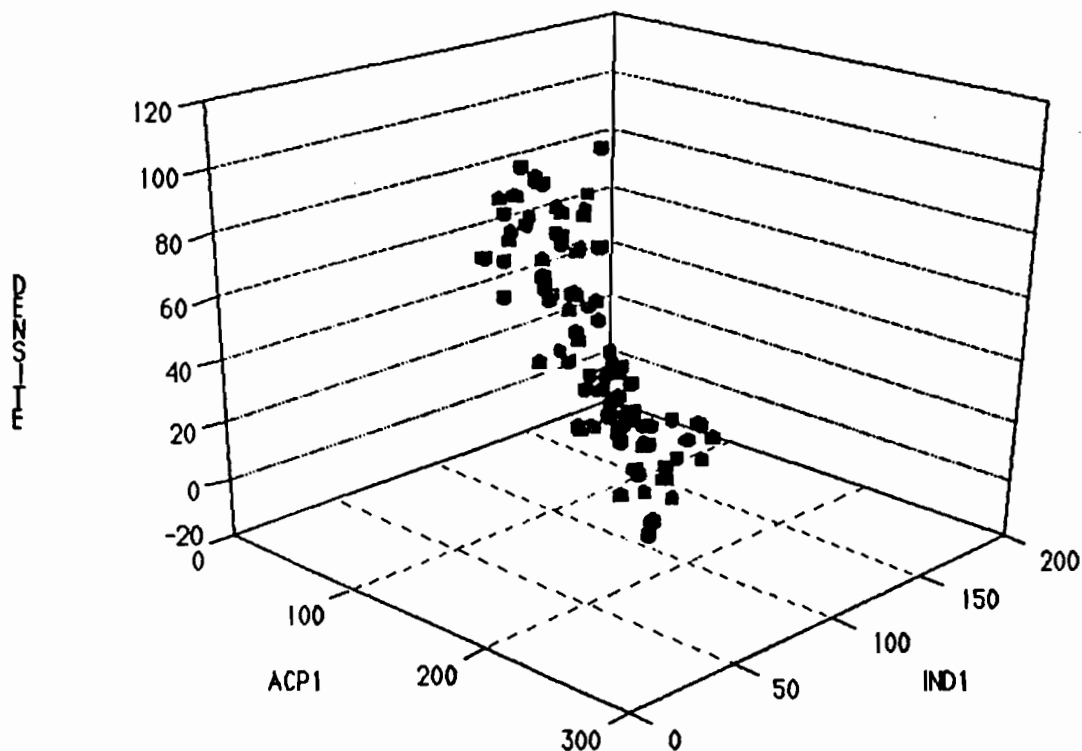


La courbe parabolique de la variable IVG s'adapte davantage pour décrire la densité du bâti, en particulier pour les densités très faibles.

L'étude des résidus nous apprend que ce sont les mêmes sous-îlots qui s'écartent le plus de la courbe théorique. Seul le sous-îlot (e)546H02 se situe très au dessus de la courbe (résidu : +48.85), il est uniquement constitué d'immeubles aux toits blancs entourés de terre claire offrant un indice de végétation moyen qui a pour effet de minimiser sa densité réelle.

### 1.3.3) Régression multiple BATI/IND1,ACP1.

Figure III.3 - Graphique de la régression multiple.-



\* 511D07 densité 5, valeur du résidu : -38.51.

\* 513A01 densité 5, valeur du résidu : 38.98. Ilot à densité très forte(90%) à dominante de couleur de toit marron.

\* 513B02 densité 3, valeur du résidu : 35.58. Ilot à densité très forte (80%) à dominante de couleur de toit blanc. La radiométrie forte qui en découle contribue à surestimer la densité du bâti.

\* 517E07 densité 5, valeur du résidu : 55.80. Ilot à densité très forte(100%) à dominante de couleur de toit blanc gris. Les moyennes radiométriques dans les 2 canaux qui nous intéressent sont fortes, cela est dû à la forte réflectance des toits de couleurs claires

\* 555C02 densité 4, valeur du résidu : -38.40. Ilot à densité faible (14%). Le bitume et l'ombre occupent une surface importante qui ce qui provoque une surestimation du coefficient de densité du bâti.

Une méthode classique de classification supervisée utilisant la distance entre barycentres de classes, initialisée à partir des îlots de l'échantillon de travail sera ensuite proposée. Les individus classés seront tout d'abord les pixels, puis les îlots de l'échantillon de vérification.

Nous terminerons par la présentation des résultats d'une ultime classification non supervisée de type nuées dynamiques sur les îlots. Cette même classification n'a pu être tentée sur les pixels en raison de problèmes inhérents au matériel informatique (tableaux de données trop importants).

### Précisions sur l'évaluation de la fiabilité de ces classifications.

La référence à laquelle nous comparons ces différentes classifications provient de l'interprétation d'une mosaïque photo-aérienne. Cette mosaïque a été numérisée puis intégrée dans la base de données gérée par TIGER™.

Dans le cas d'une classification sur les pixels, la référence est l'image du descripteur DENSITE DU BATI sur l'ensemble de la zone d'étude (voir Photo 0.1).

Dans le cas d'une classification sur des îlots issus d'un échantillon "de vérification", cette référence résulte du croisement de l'image du descripteur DENSITE DU BATI avec l'image des îlots de cet échantillon.

Notons tout d'abord que cet échantillon de vérification, tiré à un taux de 5% de façon systématique dans le fichier des îlots INSEE rangé par ordre alphabétique, présente la particularité suivante : les îlots à modalité NON BATI, TRES FAIBLE et FAIBLE sont sous-représentés en comparaison des îlots des modalités suivantes. En effet, ce type de tirage privilégie les modalités à fort effectif au détriment de modalités à faible effectif mais de surface importante (dans notre cas).

Afin de quantifier la précision des classifications, une matrice de confusion ainsi que plusieurs autres paramètres ont été calculés en prenant comme référence :

- le zonage du descripteur DENSITE DU BATI (déterminé à partir de photographies aériennes) en ce qui concerne la classification des pixels,
- le zonage du descripteur DENSITE DU BATI croisé avec les îlots de l'échantillon de vérification pour la classification des îlots.

Une telle démarche, habituelle en télédétection permet de quantifier le degré de précision de ces classifications afin de pouvoir déterminer laquelle de celles-ci présente le plus de similarité avec l'image résultant de l'interprétation de la mosaïque photo-aérienne.

Les valeurs indiquées dans ces matrices sont des valeurs brutes, c'est à dire qu'elles représentent le nombre de pixels (ou d'îlots) classés dans la classe CL J et appartenant à la classe de référence RF I.

Le pourcentage de pixels (ou d'îlots) bien classés résulte de la division de la somme des termes de la diagonale principale par le nombre total d'individus (pixels ou îlots).

Le pourcentage de pixels (ou d'îlots) bien classés par classe est obtenu en divisant les valeurs de la diagonale de chaque classe **CL I** par l'effectif de sa classe de référence **RF I**.

L'évaluation statistique des résultats est caractérisée par le quotient de l'effectif de la classe **CL I** par l'effectif de la référence **RF I** ce qui évalue statistiquement les résultats de la classification par postes de référence **I**. Ce pourcentage, **qui peut-être supérieur à 100%** mesure globalement l'importance des classes **CL I** issues de la classification par rapport aux classes de références **RF I**. Plus pratiquement, il correspond à la somme de la ligne **I** sur la somme de la colonne **I**.

#### 1) Seuillage du canal 4.

Ces seuils ont été définis lors de l'analyse des îlots de l'échantillon de travail (ou encore d'initialisation) regroupés par modalités au moyen des matrices de cooccurrences (Figure **IV.1 à 6**).

Après analyse de ces matrices (Figure **IV.1 à 6**) et des paramètres synthétiques (Tableau **IV.1** en ANNEXE PAR IV), il apparaît que 4 coupures sont envisageables:

- 34 à 55 CL 1-2 : Densité non bâti et très faible
- 27 à 33 CL 3-4 : Densité Faible et Moyenne
- 18 à 26 CL 5-6 : Densité Forte et Très forte
- 10 à 17 Non classés













Tableau IV.2 - Matrice de confusion du seuillage du canal TM4 -

	RF 1-2	RF 3-4	RF 4-5
CL 1-2 (42-55)	16306	15861	729
CL 3-4 (27-33)	9072	25102	2950
CL 5-6 (18-26)	7758	15744	32671
N.CLAS (10-17)	2748	1776	1321

Pourcentage de pixels bien classés : 47 %.

Référence	Evaluation statistique	Pixels bien classés	Effectif
1-2	92 %	45 %	35 884 pixels.
3-4	63 %	43 %	58 483 pixels.
5-6	230 %	65 %	14 169 pixels.

Malgré une diminution sensible du nombre de classes (de 6 à 4), de nombreuses confusions se produisent encore. En particulier, une partie importante des pixels référencés dans la classe RF 1-2 sont classés en classe CL 5-6.

On peut mesurer, lorsque l'on considère cette matrice, la différence entre une impression visuelle ou une tendance statistique (liaison entre le canal TM 4 et le descripteur DENSITE DU BATI) et la réalité statistique présentée sous la forme d'une matrice de confusion. L'utilisation de ces matrices, non systématique dans la littérature pour quantifier le degré de fiabilité d'une classification, sanctionne de façon nette et précise les résultats. Elle ne laisse aucune place à la subjectivité d'une comparaison (souvent flatteuse) basée sur une interprétation visuelle de la confusion entre la référence et le modèle.

Compte tenu de ces résultats, d'autres types de classification doivent être tentés.

## 2) Régression multiple BATI/ACPI, INDI.

Ces seuillages ont été effectués d'une part sur les valeurs de pixels de la scène entière, d'autre part sur les moyennes radiométriques calculées dans les îlots appartenant à l'échantillon de vérification.

Nous avons généré une image à partir de 2 néo-canaux, qui offrent une des corrélations les plus fortes avec la densité du bâti, en appliquant à chaque pixel ou moyenne par îlot la transformation suivante :

$$\text{BATI} = -.71 * \text{ACP1} - .99 * \text{IND1} + 237.62.$$

Nous avons obtenu une image dans laquelle tous les pixels ont une valeur comprise entre 0 et 100, les valeurs extrêmes ont été ramenées aux bornes correspondantes. **Cette image est donc une représentation de la densité du bâti.** D'autres auteurs ont empruntés la méthode de la régression, certains reliant directement la densité de population avec les réponses radiométriques des canaux MSS ( HEGEDUS E., et Al, 1982).

Afin de pouvoir quantifier la fiabilité d'une telle représentation, nous avons seuillé dans cette image :

- les valeurs des pixels de la scène entière dans le cas de la classification des pixels
- la moyenne des îlots de l'échantillon de vérification dans le cas de la classification des îlots

Nous avons donc obtenu 6 classes de bâti, dans le but de comparer le résultat de ces "pseudo-classifications" avec notre référence issue de la photo-interprétation.

### 2.1) Classification des pixels.

Les seuils de ces classes proviennent de la nouvelle réaffectation des îlots de l'échantillon de travail obtenu par la méthode des **nuées dynamiques**. La mer a été masquée à l'aide du canal TM 4.

Tableau IV.3 - Matrice de confusion. Classification des pixels par seuillage de la régression multiple -

	RF 1 N.BATI	RF 2 T.FAIBLE	RF 3 FAIBLE	RF 4 MOYEN	RF 5 FORT	RF 6 T.FO
CL 1 5050 N.BATI (0-2)		7972	3927	3430	203	12
CL 2 1332 T.FAIBLE (3-9)		1811	1674	1999	146	4
CL 3 2642 FAIBLE (10-23)		3520	4233	6393	537	15
CL 4 3045 MOYEN (24-44)		3873	6710	13222	2024	95
CL 5 1767 FORT (45-55)		1738	3499	8189	3880	561
CL 6 2134 TRES FORT (66-100)		1090	1937	3323	4745	1947

Pourcentage de pixels bien classés : **28 %**.

Référence	Evaluation statistique	Pixels bien classés	Effectif
1	129 %	32 %	15 970 pixels.
2	35 %	9 %	20 004 pixels.
3	79 %	19 %	21 980 pixels.
4	79 %	36 %	36 556 pixels.
5	170 %	34 %	11 535 pixels.
6	576 %	74 %	2 634 pixels.

Quelques remarques :

- 3 classes ont gagnées en effectif, il s'agit des classes NON BATI, FORTE et TRES FORTE. La première au détriment de la classe TRES FAIBLE, les deux suivantes au détriment de la classe MOYENNE.

- les modalités les mieux classées sont celles qui ont bénéficié d'un apport de pixels.

- seule la modalité TRES FORTE est bien classée, on remarquera que cette modalité comprend de nombreux pixels appartenant à la référence 5.

Cette classification est de mauvaise qualité. Cela semble provenir en partie du seuillage qui paraît ici mal défini comme tendent à le montrer les fortes valeurs situées en-dessous des termes de la diagonale principale. Les valeurs importantes se regroupent cependant autour de cette même diagonale. Fait inquiétant, le grand nombre de pixels référencés en RF 1 et classés en CL 6. Une approche visuelle de la classification indique que cette confusion est due pour l'essentiel aux ombres des montagnes qui renvoient une valeur radiométrique semblable au centre ville dense dans les canaux que nous avons sélectionnés ici.

## 2.2) Classification des îlots.

Deux méthodes ont été testées pour déterminer les bornes des classes, **les nuées dynamiques et les valeurs de densité typiques des modalités.**

### 2.2.1) Seuillage des classes à l'aide des nuées dynamiques.

Tableau IV.4 - Matrice de confusion. Classification des îlots par seuillage de la régression à l'aide des nuées dynamiques -

	RF 1 N.BATI	RF 2 T.FAIBLE	RF 3 FAIBLE	RF 4 MOYEN	RF 5 FORT	RF 6 T.FO
CL 1 00 N.BATI (0-2)		00	00	00	00	00
CL 2 01 T.FAIBLE (3-9)		00	00	01	00	00
CL 3 00 FAIBLE (10-23)		00	04	08	00	00
CL 4 00 MOYEN (24-44)		04	07	47	05	00
CL 5 02 FORT (45-55)		01	01	18	16	05
CL 6 01 TRES FORT (66-100)		00	01	03	30	24

Pourcentage d'îlots biens classés : 51 %.

Référence	Evaluation statistique	Pixels bien classés	Effectif
1	0 %	0 %	4 îlots.
2	40 %	0 %	5 îlots.
3	92 %	31 %	13 îlots.
4	82 %	61 %	77 îlots.
5	84 %	32 %	51 îlots.
6	203 %	83 %	29 îlots.

#### Analyse des résultats.

Cette matrice présente une forte concentration de ses valeurs non nulles autour de sa diagonale principale; **plus de 90% des îlots sont**

**bien classés à une classe près** ce qui est important à noter car le descripteur DENSITE DU BATI est une variable **ordonnée**. De plus, il est plus important pour nous d'obtenir une bonne précision dans les modalités les plus denses que dans les modalités TRES FAIBLE ou NON BATI.

Les modalités les moins bien classées sont celles qui sont le moins représentées dans l'échantillon, seule la modalité FORTE est mal classée et se mélange à la fois avec la classe MOYENNE et la classe TRES FORTE.

Les modalités NON BATI et TRES FAIBLE sont sous-représentées dans la classification contrairement à la modalité TRES FORTE qui attire à elle plus de la moitié des îlots de référence FORTE.

Statistiquement, les effectifs des classes ne se retrouvent pas dans les modalités NON BATI (0%), TRES FAIBLE (40%) et TRES FORTE (203 %).

### 2.2.2) Seuillage à partir de valeurs extrêmes appartenant à des îlots typiques de leur modalité initiale.

Avant de procéder à l'interprétation de la mosaïque photo-aérienne, un certain nombre de zones (îlots INSEE) ont été choisies comme référentiel pour l'intensité de gris afin de pouvoir s'y reporter en cas d'ambiguïté lors du zonage du descripteur DENSITE DU BATI. Les valeurs à partir desquelles est opéré le seuillage qui va suivre sont issues d'îlots appartenant à ces zones de référence.

Tableau IV.5 - Matrice de confusion. Classification des ilots par seuillage de la régression multiple à l'aide des valeurs typiques -

	RF 1 N.BATI	RF 2 T.FAIBLE	RF 3 FAIBLE	RF 4 MOYEN	RF 5 FORT	RF 6 T.FO
CL 1 01 N.BATI (0-5)		00	00	00	00	00
CL 2 00 T.FAIBLE (6-15)		00	01	04	00	00
CL 3 00 FAIBLE (16-29)		02	05	18	00	00
CL 4 01 MOYEN (30-60)		03	06	52	18	02
CL 5 02 FORT (61-80)		00	00	01	27	19
CL 6 00 TRES FORT (81-100)		00	01	02	06	08

Pourcentage d'ilots biens classés : 52 %.

Référence	Evaluation statistique	Pixels bien classés	Effectif
1	25%	25 %	4 ilots.
2	100%	0 %	5 ilots.
3	192 %	39 %	13 ilots.
4	106 %	68 %	77 ilots.
5	96 %	53 %	51 ilots.
6	59 %	28 %	29 ilots.

Cette classification qui améliore de 1 % la classification précédente est cependant nettement meilleure (au sens plus proche de notre référence), car l'évaluation statistique par poste de référence indique une

**plus grande fidélité au zonage pré-défini.** Les valeurs importantes restent groupées autour de la diagonale, mais au dessus, fait significatif d'un seuillage aux bornes inférieures trop élevées et par conséquent aux bornes supérieures trop basses contrairement au seuillage précédent. Cela démontre en particulier la difficulté et l'importance du choix des bornes.

### Conclusions partielles sur les classifications issues des régression simples et multiples.

Il est possible de se rapprocher davantage de l'image des zones d'équidensité qui constitue notre référence en procédant à un seuillage visuel interactif sur *Péricolor 1000*. Ce faisant, il nous semble que l'on s'écarte d'une démarche objective en faisant intervenir la partialité d'un seuillage visuel qui ne correspond pas à la réalité statistique de la DENSITE DU BATI telle que nous l'avons mesurée îlot par îlot dans l'échantillon de travail. Cependant, cette manipulation ne produira pas de résultats très sensiblement meilleurs, car une grande partie des îlots de l'échantillon de vérification appartenant à la référence FORTE possèdent une densité calculée (à l'aide de ces indices) supérieure à celle de certains îlots correctement classés dans la classe TRES FORTE. Aussi, une translation ou même une modification des bornes du seuillage ne constitue pas une recette miracle.

Nous avons vu précédemment que la translation des bornes, même limitée, influait de façon importante sur la répartition des îlots dans les classes. Si cela ne s'impose pas, il sera donc préférable de **conserver une image de densité du bâti par îlot codée de 0 à 100** plutôt que d'opérer un seuillage qui constitue à la fois une perte brute importante d'information et provoque une aggrégation des îlots dans des classes peu robustes et stables.

### 3) Classification de type barycentrique.

Le principe de cette classification supervisée est d'affecter chaque individu  $x$  à une classe  $i$ . Cette classe étant celle qui lui est la plus proche au sens de la distance de Sebesten  $D(x,i)$  soit :

$$D(x,i) = \sum_{c=1}^n ((x_c - \mu_{i,c}) / \sigma_{i,c})^2$$

avec  $\mu_{i,c}$  : moyenne de la classe  $i$  dans le canal  $c$   
 $\sigma_{i,c}$  : écart-type de la classe  $i$  dans le canal  $c$

**n** : nombre de canaux

**$x_c$**  : valeur de l'individu dans le canal **c**

Cette classification est donc totalement supervisée.

L'inconvénient majeur de ce type de classification réside dans l'inexistence d'une classe de rejet, tous les pixels étant obligatoirement affectés à l'une des classes initiales même si les distances calculées au centre de toutes les classes sont très importantes. Aucune amélioration sur ce point n'est envisageable compte tenu de l'impossibilité de déterminer objectivement une valeur de rejet. Au cours de notre travail, ce cas s'est produit pour les pixels appartenant à la mer pour laquelle aucune statistique n'avait été calculée. Ces "pixels de mer" ont été affectés à la classe TRES FORTE, classe à laquelle ils étaient les plus proches... Afin de les éliminer, un masque a été effectué en seuillant les valeurs de pixels à 9 (inclus) dans le canal infra-rouge proche (TM 4).

Les graphiques suivants démontrent la nécessité de réaffecter les îlots de l'échantillon de travail dans des modalités avant d'opérer une quelconque classification<sup>1</sup>. Les valeurs qui ont servi à l'établissement de ces graphiques sont exposées dans le Tableau IV.6 (ANNEXE PAR IV).

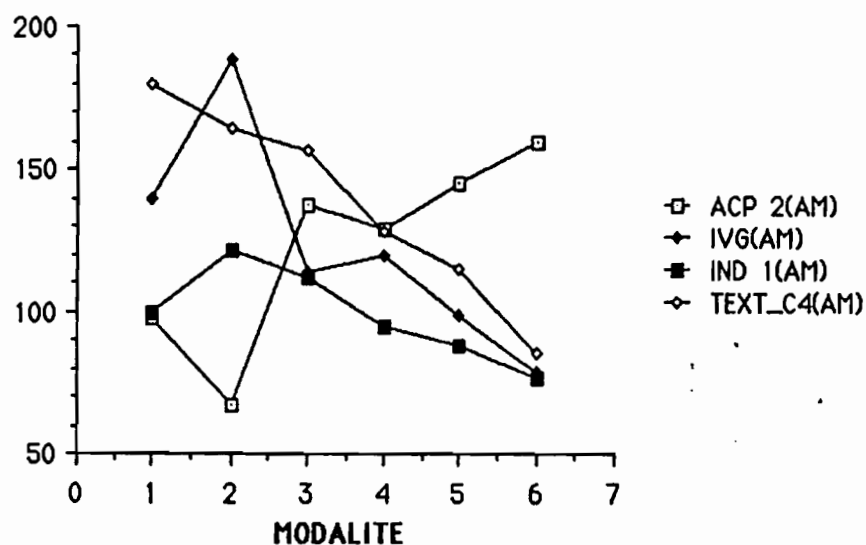
---

<sup>1</sup> Cette réaffectation a été déduite de la valeur du coefficient de densité du bâti. Elle n'a pas fait intervenir de statistiques radiométriques.

Figure IV.7 - Graphique des moyennes de reflectance **avant** réaffectation, calculées à partir des statistiques des îlots de l'échantillon, redistribués par modalité -

**Abscisse** : modalités du descripteur DENSITE DU BATI

**Ordonnée** : moyennes des différents néo-canaux dans ces modalités

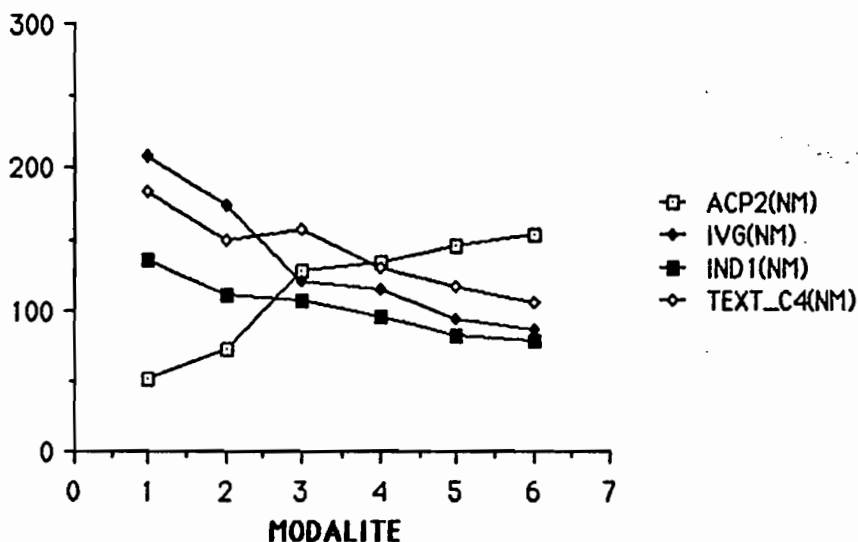


Seuls les néo-canaux corrélés de façon significative au descripteur DENSITE DU BATI ont été représentés sur ces graphiques.

Figure IV.8 - Graphique des moyennes radiométriques après réaffectation calculées à partir des statistiques des îlots de l'échantillon, redistribuées par modalité (méthode des nuées dynamiques)-

**Abscisse** : modalités du descripteur DENSITE DU BATI

**Ordonnée** : moyennes des différents néo-canaux dans ces modalités



La comparaison des statistiques issues des îlots de l'échantillon redistribuées par modalité avant et après réaffectation de ces îlots (Tableau IV.6 en ANNEXE IV) entraîne quelques remarques.

- mis à part l'écart-type local calculé sur le canal TM 4 (TEXT\_C4), les moyennes radiométriques des îlots regroupées par modalité des autres néo-canaux sont liées à ces modalités. Cela n'était pas le cas avant la réaffectation des îlots.

- à l'exception de la modalité NON BATI, les autres modalités ont tendance à avoir gagné en homogénéité, tout particulièrement la modalité TRES FORTE.

- du point de vue effectif des modalités, la réaffectation des îlots s'est principalement faite au dépend des modalités MOYENNE et FORTE et au bénéfice des modalités FAIBLE et TRES FORTE; autrement dit, un transfert d'effectifs s'est produit des modalités intermédiaires aux modalités plus extrêmes. Cela ne sera pas sans répercussions comme nous le constaterons plus loin.

La réaffectation des îlots de l'échantillon permet donc d'obtenir des moyennes et des écarts-type cohérents pour initialiser la classification. De plus, elle semble bien correspondre à une réalité radiométrique. En effet, les courbes obtenues après réaffectation ressemblent davantage à celles obtenues lorsque l'on calculait ces mêmes statistiques par modalité (Figure I.5, I.6 et I.7), comparativement à celles précédant la réaffectation.

Les moyennes et écarts-type utilisés dans la classification supervisée qui suit sont ceux obtenus par calcul sur les ilots de l'échantillon de travail après réaffectation et redistribution par modalité (Voir Tableau IV.6 en ANNEXE IV).

Les classifications présentées ici ont été exécutées à partir des 3 canaux où l'on observe une baisse de la réflectance lorsque la modalité varie de NON BATI à TRES FORTE et qui sont peu corrélés entre eux. Il s'agit de l'indice de végétation (IVG), de l'indice  $(4-5)/(4+5)$  noté (IND1) et de l'écart-type local calculé sur le canal 4 (TEXT\_C4).

Matrice de corrélation.

	IVG	IND1	TEXT_C4
IVG	1.00		
IND1	.57	1.00	
TEXT_C4	.37	.35	1.00

Ce choix a été fait après plusieurs essais. Il a été retenu en raison de l'aptitude de ces indices à discriminer les classes; c'est en effet avec ces 3 indices que nous avons obtenu les plus grandes distances entre les centres de chacune des classes.

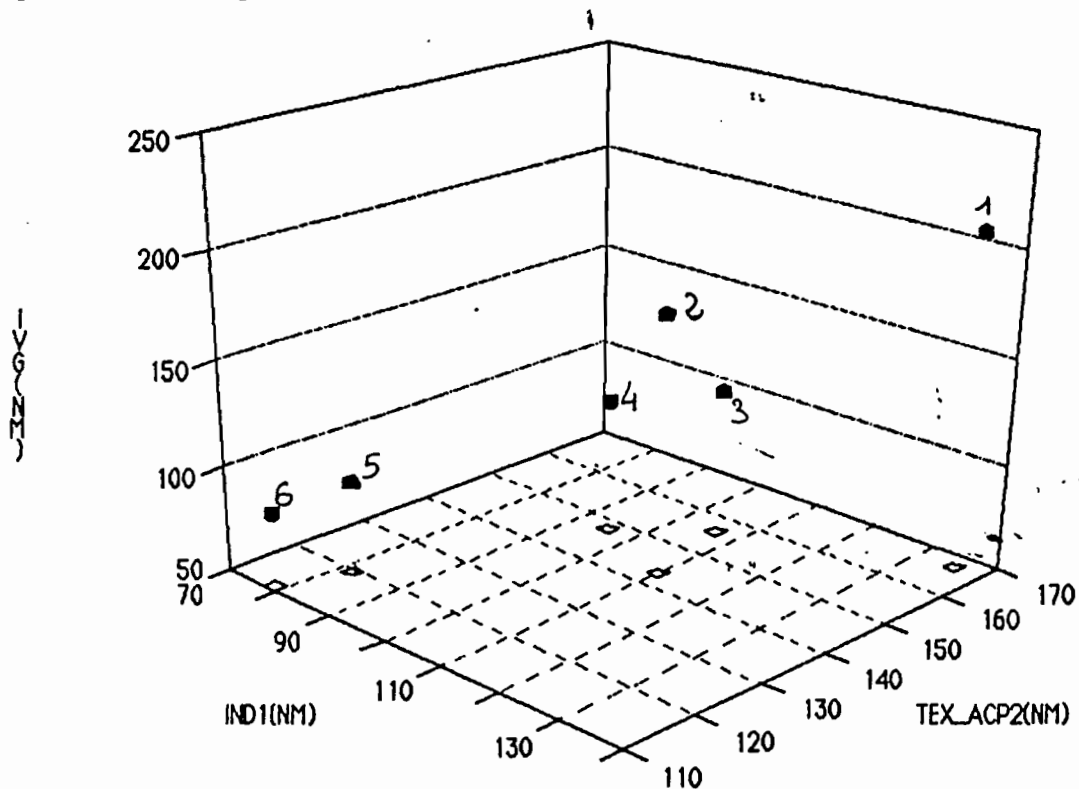
Cette matrice des distances entre centres des classes indique quelles sont les classes les plus proches, c'est à dire celles qui pourraient être regroupées sans dommage lors d'une classification ultérieure.

Tableau IV.7 - Matrice des distances entre les centres des classes -

	CL 1	CL 2	CL 3	CL 4	CL 5	CL 6
CL 1	0					
CL 2	55	0				
CL 3	96	53	0			
CL 4	114	63	29	0		
CL 5	143	90	54	29	0	
CL 6	156	103	67	42	14	0

Au vue de cette matrice, nous voyons que les classes MOYENNE et FAIBLE ou FORTE ainsi que les classes FORTE et TRES FORTE sont les plus proches, des regroupement pourront être éventuellement envisagés. Il est satisfaisant de constater que les modalités les plus éloignées (le descripteur. DENSITE DU BATI est ordonné) sont celles séparées par les distances les plus importantes. (Voir aussi Figure IV.9).

Figure IV.9 - Représentation 3 D des centres de classes -



### 3.2) Classification des pixels.

Tableau IV.8 - Matrice de confusion. Classification des pixels.  
Méthode barycentrique -

	RF 1 N.BATI	RF 2 T.FAIBLE	RF 3 FAIBLE	RF 4 MOYEN	RF 5 FORT	RF 6 T.FO
CL 1 N.BATI	<b>3865</b>	6337	2555	1913	96	4
CL 2 T.FAIBLE	5022	<b>6213</b>	5110	6404	264	7
CL 3 FAIBLE	5465	5218	<b>9063</b>	13735	3648	535
CL 4 MOYEN	572	1143	2600	<b>7036</b>	1052	72
CL 5 FORT	872	935	2260	6401	<b>4940</b>	1417
CL 6 T.FORT	174	158	392	1067	1535	<b>599</b>

Pourcentage de pixels bien classés : 29 %.

Référence	Evaluation statistique	Pixels bien classés	Effectif
1	93 %	24 %	15 970 pixels.
2	115 %	31 %	20 004 pixels.
3	171 %	41 %	21 980 pixels.
4	34 %	19 %	36 556 pixels.
5	146 %	43 %	11 535 pixels.
6	97 %	23 %	2 634 pixels.

Quelques remarques s'imposent :

- la classe MOYENNE a sensiblement diminué principalement au bénéfice de la classe FAIBLE et de la classe FORTE. Les effectifs des autres modalités demeurent constants.

- comme dans la précédente classification, les modalités les mieux classées sont celles qui ont gagné le plus d'individus.

Les résultats de cette classification sont médiocres et la fiabilité globale du même ordre de grandeur que celle effectuée par seuillage sur la régression multiple.

Cette classification est un peu décevante, cependant, si l'on regroupe les classes NON BATI et TRES FAIBLE, FAIBLE et MOYENNE, et FORTE et TRES FORTE, on obtient un résultat fort convenable. On notera cependant un regroupement des valeurs les plus importantes à proximité de la diagonale principale.

### 3.2) Classification des ilots.

L'algorithme de classification est identique, la différence étant que les individus à classer sont ici des ilots INSEE (un ensemble de pixels) et non des pixels seuls. La matrice des distances entre classes présentée plus haut est donc valable ici, les statistiques d'initialisation de la classification étant identiques.

Tableau IV.9 - Matrice de confusion. Classification des ilots. Méthode barycentrique -

	RF 1 N.BATI	RF 2 T.FAIBLE	RF 3 FAIBLE	RF 4 MOYEN	RF 5 FORT	RF 6 T.FO
CL 1 0 N.BATI	0	0	0	0	0	0
CL 2 1 T.FAIBLE	0	3	14	0	0	0
CL 3 2 FAIBLE	2	4	15	10	2	
CL 4 1 MOYEN	3	5	34	5	1	
CL 5 0 FORT	0	1	11	20	13	
CL 6 0 T.FORT	0	0	3	16	13	

## Pourcentage d'îlots biens classés : 40 %.

Référence	Evaluation statistique	Ilots bien classés	Effectif
1	0 %	0 %	4 îlots
2	360 %	0 %	5 îlots
3	270 %	31 %	13 îlots
4	64 %	44 %	77 îlots
5	88 %	39 %	51 îlots
6	110 %	45 %	29 îlots

Deux modalités ont sensiblement augmenté leur effectif (du moins en proportion), il s'agit des classes TRES FAIBLE et FAIBLE. Cette augmentation s'est produite au détriment de la classe NON BATI d'une part et de la classe MOYENNE essentiellement. Cette classification produit de moins bons résultats que le seuillage de la régression multiple. Cette constatation n'a pu être expliquée de façon satisfaisante jusqu'à présent.

3.2.1) Classification de type nuées dynamiques (non supervisée) sur les îlots.

Tableau IV.10 - Distances entre les centres de gravité des classes -

	CL 1	CL 2	CL 3	CL 4	CL 5	CL 6
CL 1	0					
CL 2	58	0				
CL 3	38	54	0			
CL 4	44	62	39	0		
CL 5	59	76	40	78	0	
CL 6	62	102	49	61	59	0

Tableau IV.11 - Matrice de confusion. Classification des îlots.  
Méthode des nuées dynamiques -

	RF 1 N.BATI	RF 2 T.FAIBLE	RF 3 FAIBLE	RF 4 MOYEN	RF 5 FORT	RF 6 T.FO
CL 1 0 N.BATI		0	2	5	2	2
CL 2 1 T.FAIBLE		1	5	11	1	0
CL 3 1 FAIBLE		2	3	14	5	1
CL 4 0 MOYEN		1	3	26	0	0
CL 5 2 FORT		1	0	15	17	2
CL 6 0 T.FORT		0	0	6	26	24

Pourcentage d'îlots bien classés : 40 %.

Référence	Evaluation statistique	Pixels bien classés	Effectif
1	275 %	0 %	4 îlots.
2	380 %	20 %	5 îlots.
3	85 %	23 %	13 îlots.
4	34 %	34 %	77 îlots.
5	73 %	33 %	51 îlots.
6	193 %	83 %	29 îlots.

La fiabilité globale de cette classification est identique à celle obtenue avec la méthode barycentrique. Les modalités NON BATI et TRES FAIBLE sont surévaluées contrairement à la modalité MOYENNE qui est nettement amoindrie.

Il est un peu décevant d'obtenir un résultat global identique à partir d'une classification supervisée (méthode barycentrique) et non supervisée (nuées dynamiques). Le taux de tirage (2,31%) de l'échantillon d'initialisation est certainement trop faible et ne permet pas d'obtenir des

classification de type supervisée.

### Conclusions partielles.

Il faut rappeler que les statistiques d'initialisation des deux derniers types de classification ont été obtenues après réaffectation des îlots de l'échantillon de travail dans de "nouvelles modalités". Il n'est donc pas a priori surprenant d'obtenir un résultat différent quant à la délimitation des modalités proches en particulier; **leur dénomination reste la même, mais leurs bornes ont été translatées.**

Nous avons conclu, dans le paragraphe consacré aux matrices de cooccurrences que le découpage initial des modalités n'était pas adapté à la réalité statistique dans le canal 4. Il semble en être de même avec d'autres néo-canaux (IVG, IND1, TEXT\_C4) ainsi qu'avec les néo-canaux utilisés pour générer les régressions (ACPI).

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 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<sup>2</sup> 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 du à un lissage lors de l'enregistrement des données, la résolution

---

<sup>2</sup> par rapport à Landsat MSS.

spatiale sensiblement meilleure du capteur TM 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 de TM paraît inadaptée pour l'étude de la densité des villes, trop fine pour classer les pixels, mais pas suffisamment fine 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 intersticiel, 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 présente l'apparence d'un semis de points multicolores là où nous voudrions voir de grandes plages de mêmes couleurs (cas des classifications de pixels).

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<sup>3</sup> et leur relative homogénéité de contenu, se prêtent relativement bien à ce genre d'exercice.

**Passer d'une classification de pixels à une classification de zones pré-définies 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.

<sup>3</sup> comparée à celle de notre zone d'étude.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.

Comme nous l'ont montré les analyses effectuées tant sur les variables radiométriques (les matrices de cooccurrences, les néo-canaux et les opérateurs de texture) que sur les variables calculées sur les photographies aériennes, il paraît trop ambitieux de vouloir obtenir une partition du descripteur DENSITE DU BATI en 6 modalités. Segmenter ce descripteur en quatre modalités est plus réaliste. Cependant, il était nécessaire d'effectuer des classifications en 6 classes afin de pouvoir quantifier ces résultats avec notre référence qui est seuillée en 6 postes. Quant aux résultats de fiabilité de nos classifications, sans être très performants, ils se situent dans la bonne moyenne des fourchettes de précision généralement publiées dans la littérature en milieu urbain.

Cependant, la véritable sanction de la précision de notre meilleure classification interviendra en fait plus tard et à un autre niveau. Il ne faut pas perdre de vue que cette classification, ou plus exactement cette stratification, a pour objet d'améliorer la précision d'une enquête démographique par sondage. Des tirages d'échantillons d'ilots INSEE vont être effectués sur la base de sondage ainsi stratifiée. Des estimations d'effectifs de population ou de densité de population par districts (ilots) INSEE vont être calculées à partir de ces tirages puis comparées au résultat du recensement INSEE. La fiabilité de la stratification que nous avons réalisée sera donc directement déduite du gain de précision imputable à l'emploi de cette stratification.

Les méthodes de classifications que nous avons employées nous paraissent appropriées compte tenu de notre problématique propre et du milieu sur lequel nous travaillons. Des classifications de type Maximum de Vraisemblance paraissent peu adaptées à notre cas compte tenu de la forme des distributions de chacune des modalités; il paraît risqué aux vus de nos résultats de nous aventurer à émettre une quelconque hypothèse de loi de distribution.

La méthode employée pour caractériser les différents individus que nous avons étudiés à partir des canaux bruts, des néo-canaux, et des opérateurs de texture, qui ne tient compte que de paramètres statistiques présente l'avantage de la rapidité et permet une vision synthétique des individus et des phénomènes. Cependant en raisonnant de la sorte, on perd toute l'information locale que nous amène la valeur de chaque pixel et il est alors plus difficile de comprendre la réponse spectrale en fonction de la couverture (artificielle ou naturelle) du pixel en question.

Il est cependant nécessaire de préciser ici que l'objectif de cette étude n'est pas d'expliquer la valeur du signal en fonction de tel ou tel matériau de construction (FUEKI et al , 1985). La taille des éléments

urbains, la résolution au sol de Thematic Mapper ainsi que la précision du recalage entre l'image satellite et les images morphologiques générées par TIGER rendent très hasardeuse une telle entreprise. De plus, les résultats obtenus en classant non plus des pixels, mais des zones nous incite à travailler sur un échantillon de petites zones pré-définies et bien connues dans lequel sont représentées toutes les classes de notre thématique.

Pour la suite de notre tâche, il paraît indispensable de travailler au niveau de chacun des sous-ilots de l'échantillon en privilégiant une analyse plus fine qui pourra être menée au moyen d'histogrammes monodimensionnels ou bidimensionnels renseignés. Dans la même optique, des régressions seront faites dans des sous-échantillons de manière à faire ressortir des phénomènes minoritaires (comme la couleur des toitures ou la nature du non bâti), qui ne peuvent être extraits lorsque l'on travaille sur l'échantillon complet.

## LISTE DES LOGICIELS UTILISES.

### **Logiciel de traitement d'image :**

\* Programmes de l'Unité de Traitement Informatique (U.T.I) de l'Atelier de Télédétection de l'O.R.S.T.O.M à Bondy (A.T.O.B) sur MINI 6. Photographies d'écran sur *Périscolor 1000*.

### **Système de gestion de base de données spatialisées :**

\* *TIGRE* de l'Unité d'Infographie de l'O.R.S.T.O.M sur MINI 6.

### **Logiciels de statistiques et gestion de fichiers:**

\* *DBASE III* sur Micral 30 compatible IBM PC.

\* *STATITCF* sur Micral 30 compatible IBM PC.

\* *STATWORKS* sur Mac Intosh\*.

### **Logiciel de graphique :**

\* *CRICKETGRAF* sur Mac Intosh\*.

### **Logiciel de traitement de texte :**

\* *WORD* sur Mac Intosh\*.

## ANNEXE PARAGRAPHE I.

Dans les tableaux qui suivent, l'écart-type est noté SIGMA, le minimum MIN, le maximum MAX, le coefficient de dyssimétrie DYS et le coefficient d'aplatissement APL.

Tableau I.3 - Statistiques descriptives par modalité : le canal TM 4 -

MODALITE	MOYENNE	SIGMA	MIN	MAX	DYS	APL
NON BATI	30.26	11.47	8	121	0.64	1.75
T FAIBLE	34.23	10.39	8	141	0.89	4.69
FAIBLE	30.39	7.82	6	87	0.39	1.14
MOYENNE	29.50	6.58	9	69	0.49	1.29
FORTE	24.14	5.54	10	62	0.81	1.56
T FORTE	20.90	4.02	10	48	1.36	5.33

Tableau I.4 - Statistiques descriptives par modalité : le canal TM 5 -

MODALITE	MOYENNE	SIGMA	MIN	MAX	DYS	APL
NON BATI	36.02	18.29	4	210	0.90	2.80
T FAIBLE	40.31	15.21	4	223	2.09	16.25
FAIBLE	37.75	12.07	4	231	0.95	7.40
MOYENNE	38.30	10.08	5	147	0.57	2.68
FORTE	33.44	8.93	9	102	0.73	2.00
T FORTE	30.04	6.86	11	76	0.78	2.89

Tableau I.5 - Statistiques descriptives par modalité : l'indice de végétation-

MODALITE	MOYENNE	SIGMA	MIN	MAX	DYS	APL
NON BATI	154.17	50.89	1	255	-0.19	-0.72
T FAIBLE	167.89	51.71	1	255	-0.14	-0.71
FAIBLE	133.83	44.62	1	255	0.36	-0.12
MOYENNE	123.51	36.62	1	255	0.68	0.64
FORTE	91.64	24.66	11	233	1.21	3.23
T FORTE	79.77	17.46	4	249	1.43	12.52

Tableau I.6 - Statistiques descriptives par modalité : le néo-canal (TM4-TM5) / (TM4+TM5) noté IND1-

MODALITE	MOYENNE	SIGMA	MIN	MAX	DYS	APL
NON BATI	131.43	54.25	1	255	-0.22	-0.47
T FAIBLE	124.20	46.61	1	255	0.25	0.04
FAIBLE	112.08	43.88	1	255	0.43	0.43
MOYENNE	100.91	38.39	1	255	0.52	0.96
FORTE	87.19	36.92	1	255	0.49	0.85
T FORTE	79.08	34.17	1	255	0.66	1.20

Etude de la texture.

**Tableau I.7 - Statistiques descriptives par modalité : Ecart-type sur la première composante principale fenêtre 5\*5 -**

MODALITE	EFFECTIF	MOYENNE	SIGMA	MIN	MAX	CDV
NON BATI	10822	144,32	098,19	01	255	0,68
T FAIBLE	07703	142,00	084,29	01	255	0,59
FAIBLE	12235	146,82	088,96	01	255	0,61
MOYENNE	18348	136,71	072,16	01	255	0,53
FORTE	04989	124,06	054,99	01	255	0,44
T FORTE	02413	111,00	032,20	01	255	0,29

**Tableau I.8 - Statistiques descriptives par modalité : Ecart-type sur le canal 4 de Thematic Mapper fenêtre 5\*5 -**

MODALITE	MOYENNE	SIGMA	MIN	MAX	DYS	APL
NON BATI	14310	58.44	1	255	0.21	-0.32
T FAIBLE	147.22	50.70	1	255	0.38	-0.11
FAIBLE	140.96	47.65	1	255	0.74	-0.03
MOYENNE	126.16	45.73	1	255	0.93	0.60
FORTE	113.86	38.97	43	255	1.38	1.87
T FORTE	93.62	31.86	44	255	1.75	4.11

**Tableau I.9 - Statistiques descriptives par modalité : Moyenne sur la première composante principale fenêtre 5\*5 -**

MODALITE	EFFECTIF	MOYENNE	SIGMA	MIN	MAX	CDV
NON BATI	10822	132,89	086,27	01	255	0,65
T FAIBLE	07703	155,33	099,27	01	255	0,64
FAIBLE	12235	156,94	092,40	01	255	0,59
MOYENNE	18348	163,04	091,07	01	255	0,56
FORTE	04989	144,08	051,52	01	234	0,36
T FORTE	02415	128,91	007,14	01	204	0,06

**Tableau I.10 - Statistiques descriptives par modalité : Moyenne sur le canal 4 de Thematic Mapper fenêtre 5\*5 -**

MODALITE	EFFECTIF	MOYENNE	SIGMA	MIN	MAX	CDV
NON BATI	10822	151,75	098,22	01	255	0,67
T FAIBLE	07703	166,29	115,84	01	255	0,70
FAIBLE	12235	159,57	094,82	01	255	0,67
MOYENNE	18348	151,75	057,31	01	255	0,38
FORTE	04989	122,57	015,49	01	220	0,13
T FORTE	02415	105,70	004,35	01	249	0,04

**Tableau I.11 - Statistiques descriptives par modalité : Ecart-type sur la deuxième composante principale, fenêtre 5\*5 -**

MODALITE	MOYENNE	SIGMA	MIN	MAX	DYS	APL
NON BATI	141.17	60.02	1	255	0.22	-0.45
T FAIBLE	145.20	50.69	1	255	0.29	-0.01
FAIBLE	146.86	49.38	1	255	0.55	-0.32
MOYENNE	134.25	47.71	1	255	0.68	0.22
FORTE	115.68	40.29	46	255	1.43	1.18
T FORTE	95.49	34.60	34	255	1.68	4.03

## ANNEXE PARAGRAPHE II

Tableau II.2 - Densité du bâti par modalité. Sous-îlot seul -

	EFEC	MOY	ECART-TYPE	MIN	MAX
N.BATI (1)	06	08.83	12.07	000	031
N.BATI (2)	08	0.63	00.86	000	002
N.BATI (3)	10	01.1	01.10	000	005
T.FAI (1)	08	13.88	23.17	001	070
T.FAI (2)	05	05.00	01.67	003	007
T.FAI (3)	13	12.08	3.38	006	015
FAIBLE (1)	12	18.42	21.08	000	079
FAIBLE (2)	21	16.29	02.96	012	023
FAIBLE (3)	18	21.67	04.61	016	035
MOY (1)	34	39.26	21.33	007	088
MOY (2)	15	30.80	04.98	024	041
MOY (3)	20	44.55	09.68	036	060
FORTE (1)	23	65.18	27.94	015	100
FORTE (2)	15	53.53	06.51	045	063
FORTE (3)	12	71.08	05.74	061	085
T.FORTE (1)	10	85.27	12.25	060	100
T.FORTE (2)	29	84.58	09.03	070	100
T.FORTE (3)	20	89.50	06.04	086	100

Tableau II.3 - Densité par modalités, bande de 16m autour du sous-îlot comprise -

	EFEC	MOY	EC-TYPE	MIN	MAX
N.BATI (1)	06	08.00	07.64	000	020
N.BATI (2)	17	4.41	3.61	000	010
T.FAI (1)	08	08.13	13.12	001	040
T.FAI (2)	21	15.67	3.18	011	021
FAIBLE (1)	12	17.33	15.50	000	058
FAIBLE (2)	9	26.67	03.02	023	031
MOY (1)	34	30.06	14.58	008	058
MOY (2)	11	35.73	03.19	032	041
FORTE (1)	23	46.13	19.95	007	069
FORTE (2)	16	47.88	4.40	042	055
T.FORTE (1)	10	58.20	10.51	040	070
T.FORTE (2)	19	63.42	04.37	057	070

Figure II.8 - Graphique des sous-îlots et bordure selon les modalités initiales -

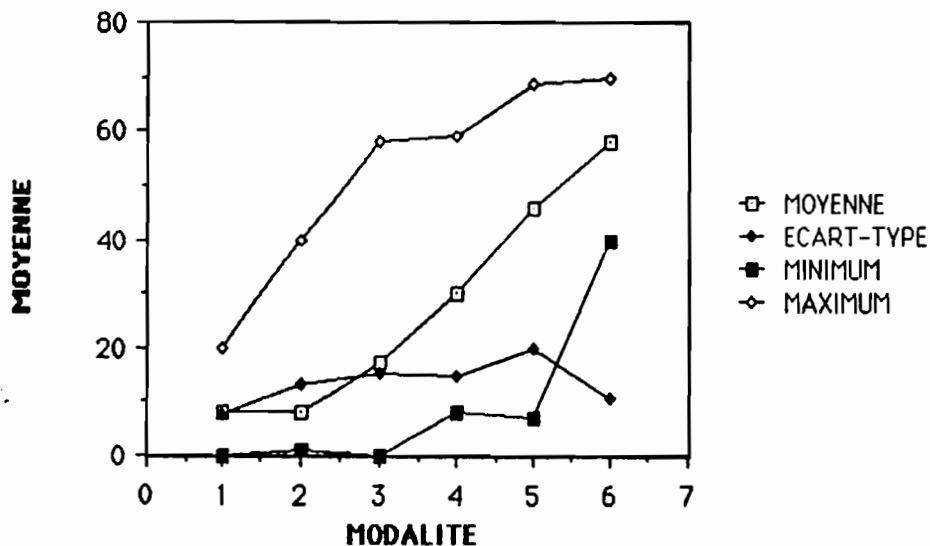
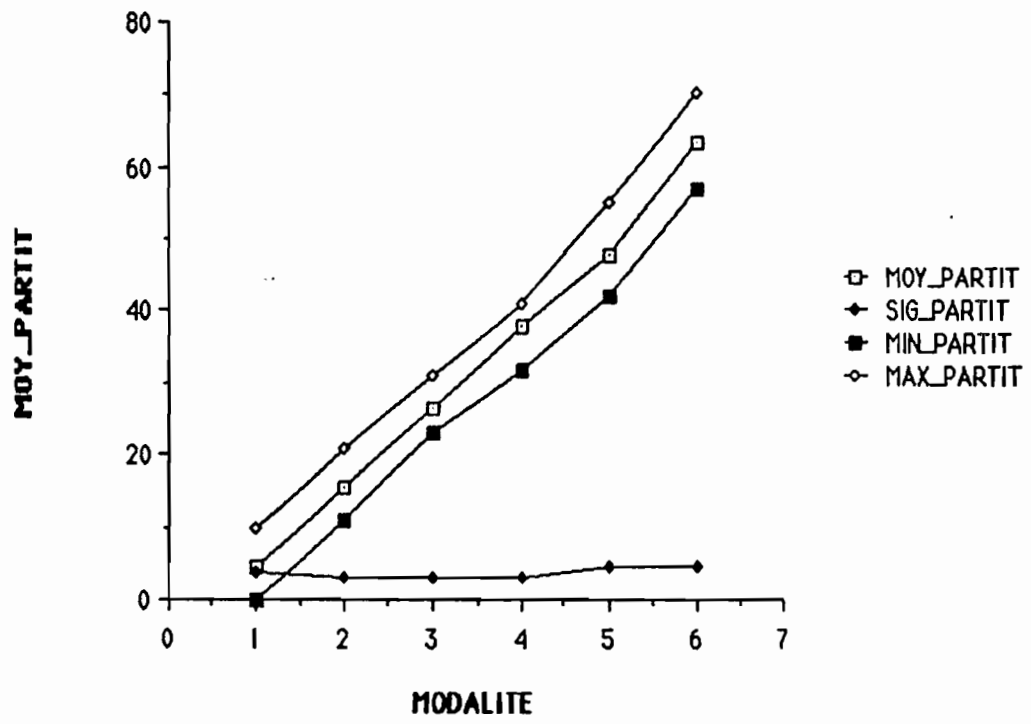


Tableau II.9 - Graphique des sous-îlots et bordure selon les modalités redéfinies par la méthodes des nuées dynamiques.



## ANNEXE PAR III

2) Régression dans l'ensemble sous-ilots et bande de 16m autour des sous-ilots.2.1) Matrice des corrélations bande de 16m autour des sous-ilots comprise.

Tableau III.3 - Corrélation sous ilots avec bordure de 16 m -

	BATI	BRIQUE	MARRON	BLANC	GRIS	NOIR
CAN1	-0.239	-0.174	-0.319	-0.032	<b>.353</b>	<b>.086</b>
CAN2	-0.334	-0.160	-0.384	-0.121	.253	.069
CAN3	-0.219	-0.013	-0.321	-0.136	.177	.036
CAN4	-0.691	-0.311	<b>-0.524</b>	-0.318	-0.073	-0.064
CAN5	-0.382	-0.040	-0.378	-0.221	-0.078	-0.032
CAN7	-0.022	.176	-0.100	-0.221	-0.015	-0.013
ACP1	-0.429	-0.094	-0.439	-0.245	-0.053	.036
ACP2	.545	.115	.384	<b>-0.403</b>	.262	.077
IVG	<b>-0.697</b>	-0.336	-0.446	-0.329	-0.209	-0.085
IND1	-0.595	<b>-0.542</b>	-0.270	-0.070	-0.046	-0.043
TEX1	-0.527	-0.468	-0.260	-0.105	-0.036	-0.059
TEX2	-0.540	-0.446	-0.342	-0.071	.100	-0.013

2.2) Régressions simples et multiples bande de 16 m autour des sous-ilots comprise.

Tableau III.4 - Régression sous-îlots avec borbure de 16 m -.

CANAUX	CORRELATION Multiple	ECART-TYPE Résiduel	S.C.E Résiduel	F FISHER Régression
IVG <b>BATI - -0.42 × IVG + 80.60</b>	.697	15.59	22123	86.00
ACP1,IND1 <b>BATI - -0.67 × IND1 -0.46 × ACP1 + 160.45</b>	.826	12.32	13666	96.70
IVG, IND1, ACP1 <b>BATI - -0.09 × IVG -0.58 × IND1 -0.40 × ACP1 + 152.85</b>	.832	12.19	13232	66.81

### 2.3) Etude des résidus.

Etude des sous-îlots aux résidus importants (supérieurs ou égaux à + ou - 2 écart type) pour les meilleures corrélations simples et multiples.

#### 2.3.1) Régression BATI/IVG :

\* 506K01 densité 3, valeur du résidu : -37.88. Ensemble de faible densité (11%), le reste 68% de bitume et 21% d'eau entraîne une réflectance relativement faible d'où une densité calculée relativement forte et donc un résidu important.

\* 511D07 densité 5, valeur du résidu : -42.06. L'ensemble îlot et bande est faiblement bâti (7%), cependant la proportion importante de bitume (91%) entraîne une réflectance relativement faible d'où une densité calculée plus importante.

\* 528I04 densité 3, valeur du résidu : -32.64. L'ensemble îlot et bande est constitué par 58% de bitume rose et 42% d'eau. La réflectance dans les 2 néo-canaux (ACP1 et IND1) est donc faible, la densité calculée importante relativement.

\* 539K01 densité 2, valeur du résidu : -30.38. Ilot dont 2% de la surface est bâtie; la majeure partie de la surface est occupée par de la terre nue claire et du bitume. La réflectance de l'îlot est moyenne d'où un écart important entre la densité calculée et la densité mesurée.

\* 549D01I densité 3, valeur du résidu : -33.71. Cet îlot comporte 16% de bâti, sans compter 5% de chantier (dalle de béton). Le reste se partage entre la végétation (arbres et herbes), la terre nue, et surtout le bitume (36%). De plus on note la présence importante d'ombre résultant de la grande hauteur des bâtiments. Tous ces éléments contribuent à une moyenne de réflectance basse pour cet îlot et donc à une densité calculée importante.

### 2.3.2) Régression multiple BATI/ACPL.IND1.

\* 511D07 densité 5, valeur du résidu : -32.06.

\* 513B02 densité 3, valeur du résidu : 25.81. Ensemble possédant une densité de 58% à dominante orange mais avec une forte proportion de toit terrasse blanc (23% de la surface de l'ensemble). Ce dernier fait explique peut-être en partie une réflectance relativement forte et donc une densité calculée plus faible que celle mesurée.

\* 515D06 densité 5, valeur du résidu : 30.91. Ensemble îlot et bande densément bâti (67%) majoritairement en tuile canal de couleur dominante orange. Aucune explication n'a pu être trouvée pour expliquer le résidu important.

\* 533A01 densité 5, valeur du résidu : 25.11. Cet îlot est constitué à 66% par un ensemble de bâtiments à dominante de couleur de toit orange, le reste étant occupé par du bitume (32%). Comme pour l'îlot précédent, aucune explication satisfaisante n'a pu être trouvée.

### 2.3.3) Régression multiple BATI/CAN4.ACPL.IND1.

Comme dans le cas de la régression sur les îlots seuls, on constate la très faible valeur du F de Fisher partiel pour l'indice de végétation (2.91) ainsi que la valeur de l'écart-type pour ce même indice (0.06) qui est du même ordre de grandeur que le coefficient de régression (-0.09) de l'IVG. En conséquence, cette régression est abandonnée.

### Conclusion partielle.

Ces derniers résultats décevants et moins bons que ceux obtenus en demeurant à l'intérieur de l'îlot nous incite à laisser ces dernières régressions de côté et à nous consacrer en priorité aux régressions plus prometteuses de l'îlot seul.

## ANNEXE PARAGRAPHE IV.

TABLEAU IV.1 - Paramètres extraits des matrices de cooccurrences calculés à partir de l'échantillon de travail des sous-îlots INSEE -

MOD	CENTRE DE GRAVITE DU NUAGE		SECOND MOMENT ANGULAIRE	ORGANISATION DU NUAGE	HOMOGE LOCALE	INERTIE
	X	Y				
1	38.33	37.92	4354	2.39	0.168	60.88
2	38.15	36.67	4707	2.38	0.217	52.04
3	31.30	31.33	3700	2.51	0.207	52.47
4	30.62	30.32	5099	2.43	0.257	29.13
5	26.27	25.91	3752	2.11	0.203	24.20
6	21.63	22.65	26 777	1.60	0.341	12.84

Tableau IV.6 - Valeur des indices par modalités (anciennes (1) et nouvelles (2)) issue des îlots de l'échantillon.

MOY : moyenne  
ECT : écart-type

		ACP2	IVG	IND1	TEXT_C4
<b>NON BATI</b>					
MOY	(1)	097.67	139.58	099.61	180.06
	(2)	050.90	207.65	135.69	184.04
ECT	(1)	38.52	41.75	45.97	53.06
	(2)	58.24	53.96	45.22	50.52
EFFECTIF	(1) 6				
	(2) 8				
<b>TRES FAIBLE</b>					
MOY	(1)	067.35	188.36	121.79	164.45
	(2)	073.37	173.26	110.10	149.34
ECT	(1)	41.46	36.22	35.91	54.52
	(2)	41.82	41.89	44.43	55.15
EFFECTIF	(1) 8				
	(2) 5				

**FAIBLE**

MOY (1)		137.83	113.88	112.18	156.87
(2)		128.71	120.92	106.16	156.35
ECT (1)		48.57	44.68	47.07	51.45
(2)		50.91	47.12	51.80	56.46
EFFECTIF	(1)	12			
	(2)	21			

**MOYENNE**

MOY (1)		129.72	119.53	095.04	128.55
(2)		133.94	115.36	095.39	130.54
ECT (1)		43.40	34.54	36.32	50.66
(2)		40.66	36.58	34.72	42.79
EFFECTIF	(1)	34			
	(2)	15			

**FORTE**

MOY (1)		145.32	098.59	088.12	115.26
(2)		145.45	094.52	081.66	115.93
ECT (1)		31.81	20.26	33.06	36.02
(2)		29.87	26.48	37.46	33.59
EFFECTIF	(1)	22			
	(2)	15			

**TRES FORTE**

MOY (1)		160.34	079.00	077.00	085.57
(2)		152.25	086.05	078.39	105.77
ECT (1)		26.13	19.11	35.01	34.82
(2)		19.63	13.78	29.33	27.47
EFFECTIF	(1)	11			
	(2)	29			

## ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRIE, 1983- Manual of remote sensing, Vol 1, pp 516,570, Sheridan Press, Falls Church.

BALLUT A.,1979-Les limites de la télédétection en milieu urbain, thèse de troisième cycle, EHESS, Paris.

BALLUT A., BOQUET E., NGUYEN P.T., FORTIN M., 1984.- Evolution de l'occupation du sol. Recherche de méthodes comparatives et de traitements par utilisation des simulations SPOT de 1981 et 1983.IBM, IAURIF.

BOASSON E., HOWARTH P.J., 1983- Landsat digital enhancement for change detection in urban environment, Remote Sensing of Environment, N° 13 pp 149-160.

CONNERS R.W., HARLOW C. A., TRIVEDI M.M., 1985 - Segmentation and spatial analysis of urban scenes. XIX International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan, pp 205-225.

CUSHNIE J.L.,1984.- Improving the accuracy of computer classification of Thematic Mapper data. Proceeding of the 10 th anniversary International Conference held in Reading, UK, pp 329-339.

DESACHY J.,1980.- Contribution à l'étude de la texture en télédétection. Thèse de troisième cycle en Informatique, Université de Toulouse, 325pp.

DUCROS-GAMBART P., RAKARIYATHAM R., 1984- Méthode de classification multidimensionnelle (spectrale et texturale) appliquée à des images satellite. CESTA Biarritz, Mai 1984, Vol 2, pp.

FUEKI T., HONG J.K., SHIBANO K., YANG L.S., 1985-Analysis of urban spatial structure of Marseille by Landsat Thematic Mapper.

HARRALICK R.H., SHANMUGAM K., ITS'HAK DINSTEIN., 1973.- Textural features for image classification. IEEE Transaction on System Man and Cybernetics, Vol 6, pp 610-621.

HEGEDUS E., HSAKA J., 1982 - Population estimation from Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, n°12, pp 259-272.

IOKA M., KODA M., 1986.- Performance of Landsat 5 TM data in land-cover classification. INT. J. Remote Sensing, Vol 7, N°12, pp1715-1728.

IRONS J.R., PETERSEN G.W., 1981.- Texture transform of remote sensing sensing data. Remote Sensing of Environment, Vol 11, pp 359-370.

LAPORTE J.M., 1983.- Etude de la texture sur des simulations d'image SPOT. Thèse de troisième cycle, Université de Paris VII.

SLIMANI M., 1986.- Analyse de texture en télédétection application à la segmentation d'images satellite à haute résolution type SPOT. Thèse de troisième cycle, Université de Rennes I, 98pp.

X TOLL D.L., 1985.- Landsat 4 Thematic Mapper scene characteristics of suburban and rural aera. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol 51, pp 1471-1482.

WANG S.C , 1984 - Analysis methods for Thematic Mapper data of urban regions. Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, pp 134-143.

Publication et notes de travail de l'équipe ORSTOM.

( peuvent être consultés au département D, ORSTOM, 30 Rue de Charonne, 75 011 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 XXe 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 263-286.

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). ORSTOM, 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.