

CARACTERISATION DES QUARTIERS PERIPHERIQUES DE MEXICO SUR IMAGE SPOT: ANALYSE COMPAREE DE LA TEXTURE SUR LES DONNEES MULTIBANDES

Jean-Michel EBERHARD

La présente étude s'inscrit dans un programme de géographie urbaine sur l'agglomération de Mexico: description et caractérisation des quartiers périphériques d'après les types d'occupation du sol analysables sur images de télédétection, et suivi de la croissance urbaine, dans un but de gestion de l'espace urbain.

Conditions du développement de la recherche:

Plusieurs structures sont impliquées dans ce programme:

- l'ORSTOM: - le S.D.U.,
 - le L.I.A. à Bondy (télédétection, équipe Satform),
 - le Centre ORSTOM de Mexico;
- l'Université de Xochimilco (Mexique);
- le CREDAL.

L'image SPOT multibande de Mars 1986 et l'image panchromatique de Mai 1986 constituent les premières données utilisées, auxquelles devrait s'ajouter une image Thematic Mapper de la même période.

Une image SPOT acquise en 1988 ou 1989 permettra l'étude diachronique.

I. UNE ETUDE DE TEXTURE

Le projet comporte deux axes principaux de recherche: une exploitation des données d'origine radiométrique, et une analyse numérique de l'information. Cette dernière regroupe un ensemble de méthodes qui, d'une part, apportent une information sur la constitution de l'image elle-même (structures de l'image...), et d'autre part, permettent d'isoler et de caractériser des objets thématiques décelables sur cette image (forme, nombre, taille, voisinage...).

La structure d'une image peut être caractérisée par une analyse de sa texture.

Par *texture*, nous entendrons l'agencement des niveaux de gris entre pixels voisins. L'analyse développée ici est donc une comparaison de pixel à pixel, avec la description d'un certain nombre de caractères liés à cette comparaison.

L'étude de la texture présente l'avantage de rendre compte de la continuité, ou de la discontinuité, de l'intensité du signal radiométrique en incluant la notion de voisinage, continuité du signal dont la mesure permet sur le plan thématique une quantification de la régularité du tissu urbain décelable par la télédétection. En conséquence, il est raisonnable d'espérer ainsi appréhender certains types d'occupation du sol...

Les reproductions ci-contre démontrent intérêt d'une telle démarche. La figure 1 présente un quartier de la banlieue Est (Chimalhuacan) qui se caractérise par un rassemblement de petites constructions individuelles, marquées sur l'image par un assemblage discontinu de points clairs sur un fond plus foncé.

La figure 2 montre au Nord-Ouest un assemblage identique, à la figure 1, quoique plus dense, mitoyen à une zone non construite, caractérisée sur l'image par de vastes plages uniformes en niveau de gris. Toutefois, on remarque par endroit un mitage de l'espace rural (agglomérations de points localisées).

II. METHODES D'ANALYSE ET DOMAINE GEOGRAPHIQUE D'APPLICATION

La méthode dite par *matrice de cooccurrence en niveaux de gris*, correspond à cette approche de la texture; elle offre en outre l'avantage de produire une représentation graphique sous forme d'un histogramme bidimensionnel, et des paramètres qui rendent possible la comparaison des milieux étudiés.

Les paramètres ont été calculés par le logiciel *Planètes* sur chacun des trois canaux, pour 45 zones de forme carrée, de 20 pixels de côté en mode multibande, soit 400 m. sur le terrain. Le mode de répartition de ces zones est raisonné: un découpage visuel sur composition colorée a préalablement permis d'isoler les quartiers de banlieues qui apparaissent sur l'image sous l'aspect de surfaces homogènes. On a réparti les zones d'entraînement de façon à assurer la représentativité du type de chacun de ces quartiers.



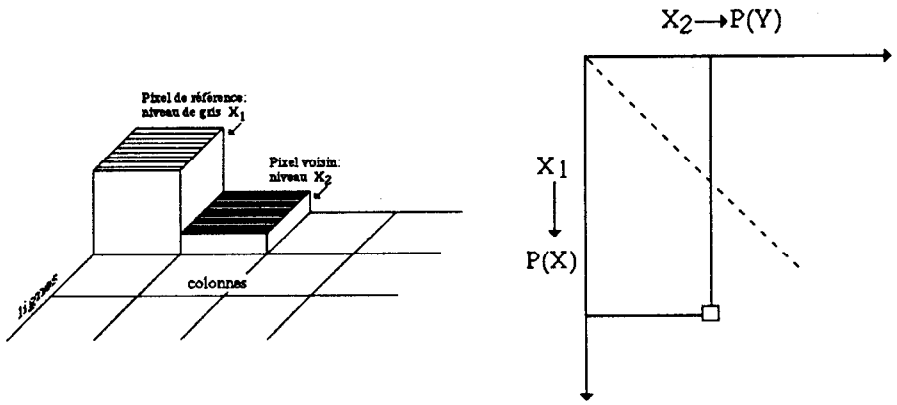
Figure 1 : Chimalhuacan (image panchromatique)



Figure 2 : Banlieue Est (SPOT)

III. PRINCIPES DE LA METHODE

La méthode est basée sur la comparaison du niveau de gris d'un pixel donné avec celui de son voisin. Soit un pixel de référence, de niveau de gris x_1 et son voisin de niveau x_2 , le couple (x_1, x_2) détermine la position d'un point dans le plan:



Figures 3a + 3b : Cooccurrence en niveau de gris : principes

Le pixel 2 est à son tour comparé avec le pixel 3, produisant un nouveau couple de valeurs; puis, le 3 avec le 4, etc... La matrice est élaborée à partir de valeurs normées par calcul des possibilités d'apparition de chaque couple.

Plusieurs types de relation spatiale peuvent être établies, selon la distance (comparaison entre pixels mitoyens ou distants...), selon l'angle (comparaison en ligne, en colonne, ou en diagonale...):

L'ensemble des points dans le plan forme un nuage, dit *nuage de cooccurrence*, qui est l'histogramme bidimensionnel de l'image sur elle-même, décalée du nombre de pixels considéré. La forme du nuage caractérise la distribution des valeurs de gris, selon l'amplitude et la fréquence des variations.

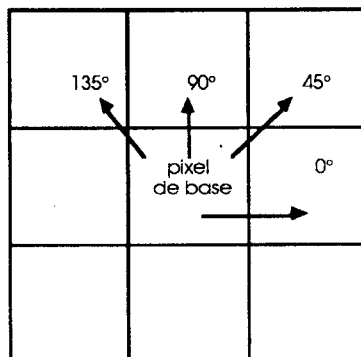


Figure 3c Types de relation spatiale

L'une des caractéristiques essentielles est l'étalement du nuage de part et d'autre de la diagonale, représentation de la disparité des valeurs qui composent l'image, méthode basée sur la *mesure du spread*, selon la nomenclature proposée par P. Poudiougou (dans l'article intitulé: *Texture: un état de l'art* voir page).

La figure 5 (page ci-contre) montre deux nuages de cooccurrence selon le tissu urbain et les canaux. L'aspect général du nuage est étalé pour la zone n°1 (quartier Pedregal-San Jeronimo) dont l'image présente sur l'image une surface irrégulière et contrastée; au contraire, la zone n°2 (Santiago-Acahualtepec), surface plus homogène, montre moins de variations locales et par conséquent un nuage plus ramassé, resserré sur la diagonale.

Pour une même zone, on remarque d'ores et déjà des nuances dans la forme des nuages entre le canal 1 et le canal 3; pour ce dernier en effet, la forme de l'histogramme est globalement moins étalée.

Les caractéristiques du nuage sont mesurées par six paramètres:

- 1 et 2) les coordonnées x et y du *centre de gravité* du nuage, qui indiquent la valeur moyenne des niveaux de gris de la zone étudiée;
- 3) l'*homogénéité locale*, ou le resserrement du nuage autour de la diagonale; une H.L. élevée caractérise les plages uniformes;
- 4) l'*inertie*, paramètre d'étalement du nuage, inverse du précédent, de forte valeur pour les zones à variations de gris contrastées et rapides;
- 5) l'*entropie*, ou degré d'organisation, quantifie les distributions; l'entropie est nulle pour les images à un seul niveau de gris;
- 6) le *second moment angulaire* qui mesure les fortes probabilités de distribution; le S.M.A. caractérise les pics de hautes fréquences.

On trouvera des informations complémentaires concernant cette méthode, en particulier le mode de calcul des paramètres, dans la thèse de Jean-Michel Laporte, et deux applications de la méthode: sur Marseille dans la thèse de Alain Michel (image TM) et sur l'image SPOT panchromatique SPOT de Quito (J-M Eberhard; DEA).

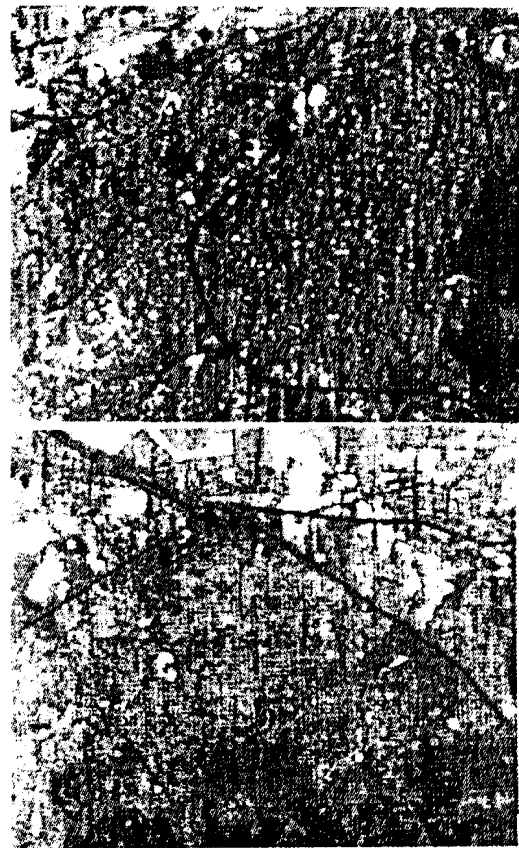
IV. ANALYSE DES PARAMETRES CALCULES

Afin d'établir les corrélations entre les variables et de déterminer les premiers regroupements et oppositions entre les individus, les paramètres calculés ont été soumis à une Analyse en Composantes Principales. Rappelons que ces paramètres ont été calculés séparément dans chacun des trois canaux pour les 45 zones d'entraînement.

On obtient les contributions à la variation totale suivantes:

axe 1 : 62,1% ; axe 2 : 19,9%

Examinons plus en détail les corrélations entre paramètres:



canal 1



canal 3



Figure 5 : Nuages de cooccurrence; canaux 1 et 3 de SPOT. En haut: quartier du Pedugal; en bas: Acahualtepec

IV.1. Corrélations entre variables d'un même canal

Le tableau ci-dessous des corrélations entre paramètres des canaux 1 et 3 permet quelques remarques:

	XY1	SM1	EN1	HL1	IN1
XY1	1				
SM1	-0,034	1			
EN1	0,013	-0,987	1		
HL1	-0,016	0,861	-0,852	1	
IN1	0,211	-0,553	0,625	-0,491	1

Tableaux des corrélations dans un même canal paramètre canal 1

	XY3	SM3	EN3	HL3	IN3
XY3	1				
SM3	-0,139	1			
EN3	0,120	-0,978	1		
HL3	-0,102	0,912	-0,928	1	
IN3	0,169	-0,676	0,786	-0,743	1

Tableau de corrélations paramètres canal 3

- *de fortes corrélations*: l'entropie s'oppose fortement au second moment angulaire; en effet, par définition une entropie de valeur forte traduit une grande désorganisation du nuage, en particulier une dispersion des fréquences d'apparition des couples (dans le nuage: disparition des pics). De faibles fréquences se traduisent par des valeurs de second moment angulaire faibles.

On remarque également des corrélations, quoique plus faibles dans le canal 1:

- entre l'homogénéité locale et le second moment angulaire (la présence de plages uniformes sur l'image induit l'apparition de pics de hautes fréquences dans le nuage);
- entre l'homogénéité locale et l'entropie qui s'opposent (les plages uniformes sont un facteur d'organisation du nuage, donc de baisse d'entropie).
- *des corrélations moyennes*: le paramètre inertie se distingue des trois autres variables de texture; c'est le paramètre le moins corrélé aux autres et vraisemblablement le plus discriminant. On notera une décorrélation particulière avec l'homogénéité locale, dans le canal 1, avec le second moment angulaire dans le canal 3.

Dans le premier cas, il semble que les paramètres de resserrement et d'étalement du nuage ne constituent pas une information redondante, mais restent relativement indépendants, caractérisant ainsi des nuages de forme spécifique.

Dans le second cas, la décorrélation relative entre l'inertie et le second moment angulaire semblerait révéler l'existence de cas où l'étalement du nuage marque une certaine indépendance vis à vis des hautes fréquences.

- *des corrélations nulles*: elles apparaissent entre le centre de gravité du nuage et les paramètres de texture, ce qui signifie une indépendance totale entre l'agencement spatial des pixels et leur niveau de gris.

On remarquera cependant une corrélation plus forte entre le centre de gravité et l'inertie, dans le canal 1, originalité supplémentaire pour cette variable.

Ces remarques sont valables pour l'ensemble des trois canaux. Le canal 1 apparaît néanmoins comme le plus discriminant du point de vue de la méthode, les corrélations de paramètres de la cooccurrence y étant globalement moins fortes.

IV.2. Corrélations des paramètres de cooccurrence entre canaux

Globalement, on observe de fortes corrélations entre les paramètres des canaux 1 et 2. En revanche, les corrélations apparaissent plus nuancées entre les canaux 2 et 3, mais surtout entre le 1 et le 3. L'indépendance respective des canaux entre eux s'ordonne par conséquent selon leur numérotation:

$$XS1 \leftrightarrow XS2 \leftarrow \text{-----} \rightarrow XS3$$

Le tableau ci-dessous reproduit la valeur des corrélations des variables entre les canaux 1 et 3:

	XY1	SM1	EN1	HL1	IN1
XY3	0,788	-0,315	0,326	-0,243	0,284
SM3	0,251	0,740	-0,781	0,580	-0,505
EN3	-0,273	-0,744	0,801	-0,579	0,603
HL3	0,261	0,766	-0,804	0,684	-0,548
IN3	0,011	-0,616	0,692	-0,501	0,923

Tableau corrélations paramètres canaux 1 et 3

Ces résultats suggèrent quelques remarques:

- les inerties sont les variables de même nature les mieux corrélées entre deux canaux (IN1 et IN3). Ce n'est pas tant l'amplitude des écarts de pixel à pixel qui détermine cette corrélation, que leur nombre constant entre les canaux.
- les centres de gravité des nuages (XY1 et XY3) sont davantage corrélés avec les variables de texture de l'autre canal, qu'ils ne l'étaient avec les variables de leur propre canal (cf. ci-dessus).
- les corrélations sont globalement plus fortes entre le centre de gravité du canal 3 et les variables de texture du canal 1, que l'inverse.
- les corrélations des centres de gravité avec les variables de l'autre canal changent de signe dans la relation inverse.

Ces propriétés remarquables de *corrélations croisées* ne sont pas expliqués pour l'instant.

IV.3. Représentation des individus dans le plan factoriel

On trouvera ci-dessous le plan décrit par les axes 1 et 2; le premier étant défini essentiellement par les variables entropie-second moment angulaire; le second par les centres de gravité.

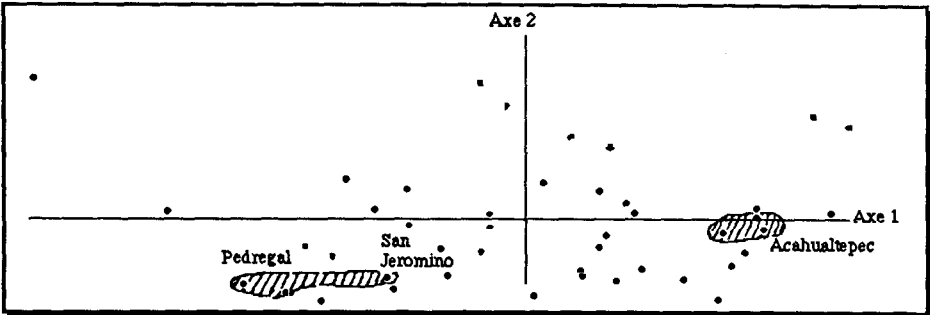


Figure 6 : ACP 3 canaux; Plan factoriel 1-2

La dispersion des individus dans le plan ne permet d'isoler aucun regroupement; on remarque au contraire une distribution continue sur l'axe 1 qui montre une succession d'états intermédiaires, sans rupture nette dans la constitution texturale de l'image selon les types d'occupation du sol.

On remarque cependant de grandes oppositions des extrêmes texturaux; tel que ceux évoqués ci-dessus:

- à gauche sur l'axe 1, Pedregal-San Jeronimo, nuage étalé, forte entropie, peu de hautes fréquences,
- à l'opposé, Acahualtepec, nuage plus resserré, présence de hautes fréquences, donc faible entropie.

La caractérisation des zones apparaîtra non pas dans la corrélation de leurs variables descriptives, mais davantage, semble-t-il, dans les *hiatus* qui existent dans leur interdépendance.

Pour cela, une analyse plus élémentaire des distributions permettra de mieux saisir la signification des variables et les mécanismes de leurs dépendances.

V. CROISEMENTS SIMPLES DE VARIABLES

Le croisement graphique des variables nous apporte des précisions sur le type de relations entre celles-ci.

Par la figure 7, nous vérifions la corrélation négative, entre l'entropie et l'homogénéité locale dans le canal 3: lorsque les plages uniformes augmentent l'entropie décroît.

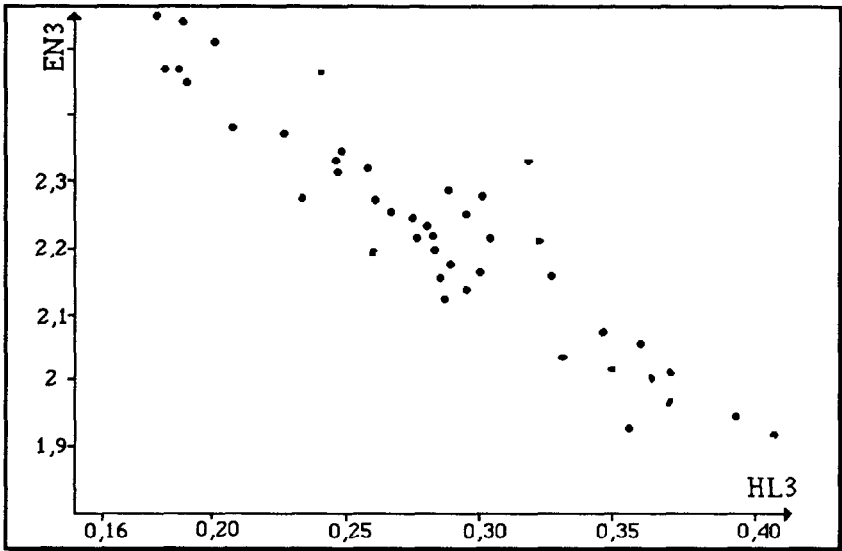


Figure 7 : Homogénéité Locale - Entropie; canal 3

On remarquera cependant certains écarts dans cette relation. Exemple:

- pour une valeur sensiblement égale de l'entropie, il peut exister une assez grande différence des valeurs d'homogénéité locale (zones 5 et 40);
- inversement, pour une même valeur d'homogénéité locale, l'individu 34 se différencie de la zone 31 par une entropie supérieure.

Ces variations des valeurs d'une même variable pour des individus associables par ailleurs pour d'autres paramètres, traduisent des combinaisons nuancées dans l'agencement des pixels, combinaisons qui correspondent sur le terrain à des types d'occupation du sol eux-mêmes nuancés. Exemple: variations dans la taille et dans le nombre des objets; surface uniforme d'un seul tenant ou émiétée...

La relation homogénéité locale-entropie peut s'assimiler à une relation linéaire; tel n'est pas le cas de la relation entre l'homogénéité locale et l'inertie...

La figure 8 montre en effet une relation plus complexe entre les deux variables. D'un point de vue pratique, on remarque l'indépendance des valeurs basses de l'homogénéité locale ($HL < 0,25$) avec l'inertie, phénomène que traduisait la faiblesse particulière des corrélations calculées dans l'ACP.

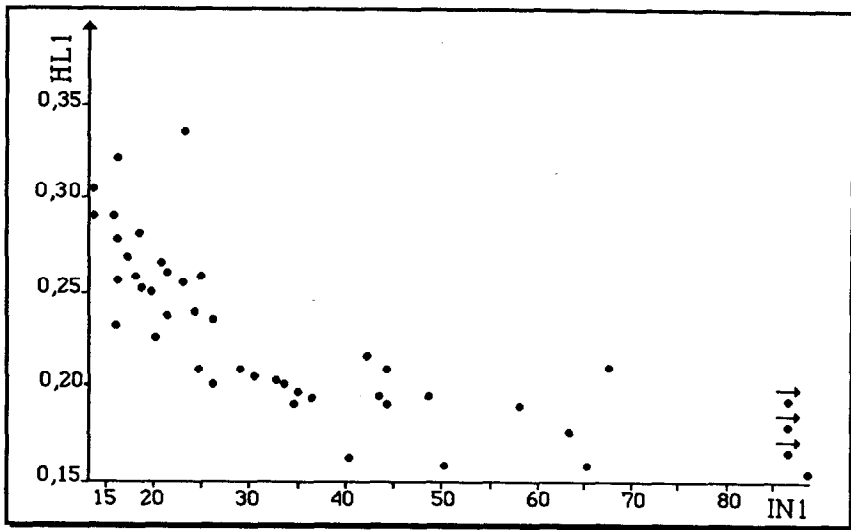


Figure 8: Homogénéité Locale - Inertie canal 1

Comparons maintenant les valeurs d'une même variable entre différents canaux.

La figure 9, croisement de l'homogénéité locale des canaux 1 et 3, montre que les valeurs du paramètre se trouvent pour la plupart sous-évaluées dans le canal 1 par rapport à celles du canal 3 (déviation du groupe de points à la bissectrice); l'écart s'accroît avec l'augmentation des valeurs.

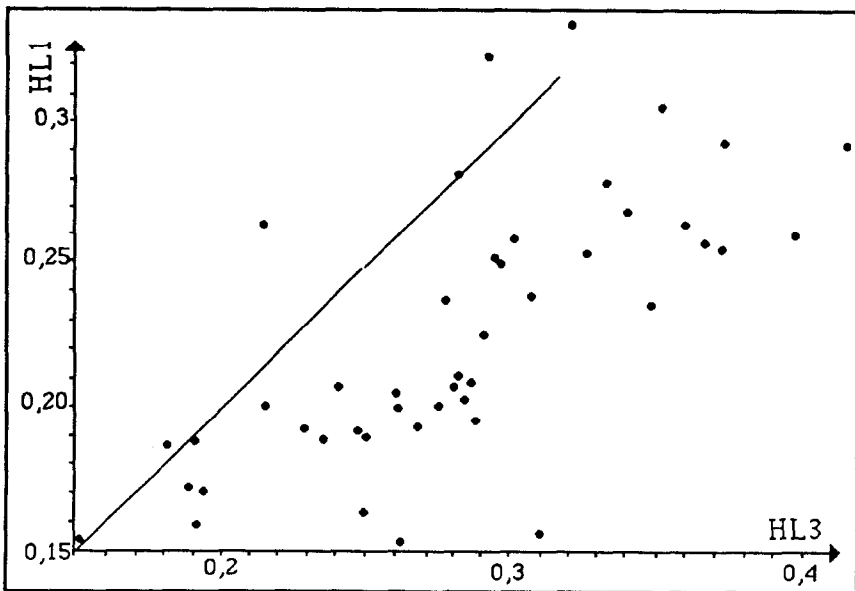


Figure 9: Homogénéité Locale canaux 1 et 3

Cette sous-estimation de l'homogénéité locale dans le canal 1 peut avoir deux origines:

- un artefact lié par exemple aux capteurs SPOT ou à leur calibration;
- la thématique elle-même, restreinte à un type d'objet ou de paysage précis, dont l'une des caractéristiques globales serait justement une plus grande hétérogénéité dans le visible...

Un *lissage* des réponses spectrales par diffusion ou filtrage en atmosphère urbaine polluée semble peu probable.; en effet, ce lissage affecterait surtout les canaux 1 et 2, or l'homogénéité mesurée par la méthode est plus forte dans le canal 3...

La seconde explication paraît la plus plausible.

VI. VERS UNE APPLICATION THEMATIQUE

L'association des indices texturaux avec les valeurs radiométriques respectives par canal donne une idée de l'application thématique que peut permettre la méthode.

L'étude radiométrique des zones n'est pas avancée; cependant, le simple apport des valeurs des centres de gravité des nuages fournit un nouveau type d'information qui intègre à la fois les caractères radiométriques des objets et certains aspects de leur structure (émiement des surfaces, notamment).

Nous avons vu la décorrélation qui existe à l'intérieur d'un canal entre les caractères du nuage et son centre de gravité... Au contraire, si on caractérise les zones en ordonnant les valeurs des centres de gravité dans les trois canaux, on s'aperçoit que la répartition de cette caractéristique n'est pas aléatoire dans les distributions étudiées ci-dessus.

Les figures suivantes montrent les rapports qui peuvent exister entre l'information radiométrique et l'information texturale pour une application thématique:

On voit sur la figure 10 que les zones dont le centre de gravité est le plus fort dans le canal 3, occupent la partie supérieure dans la relation homogénéité locale-entropie, avec des valeurs plutôt faibles pour la première variable, et plutôt forte pour la seconde. D'un point de vue thématique, on peut en déduire que ces zones regroupent des objets de faible surface ou dispersés, à forte réponse dans le canal 3. Il s'agit surtout de quartiers à taux d'urbanisation relativement faible, ou de bâtiments individuels entourés de jardins; on retrouve là le Pedregal et San Jeronimo.

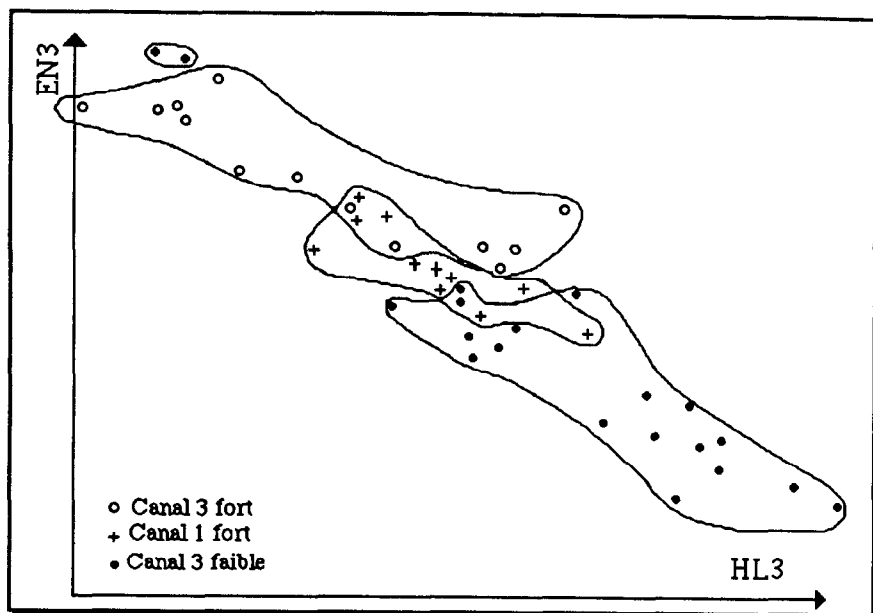


Figure : 10 Homogénéité Locale - Entropie canal 3 HI et EN canal 3 par groupe de centre de gravité

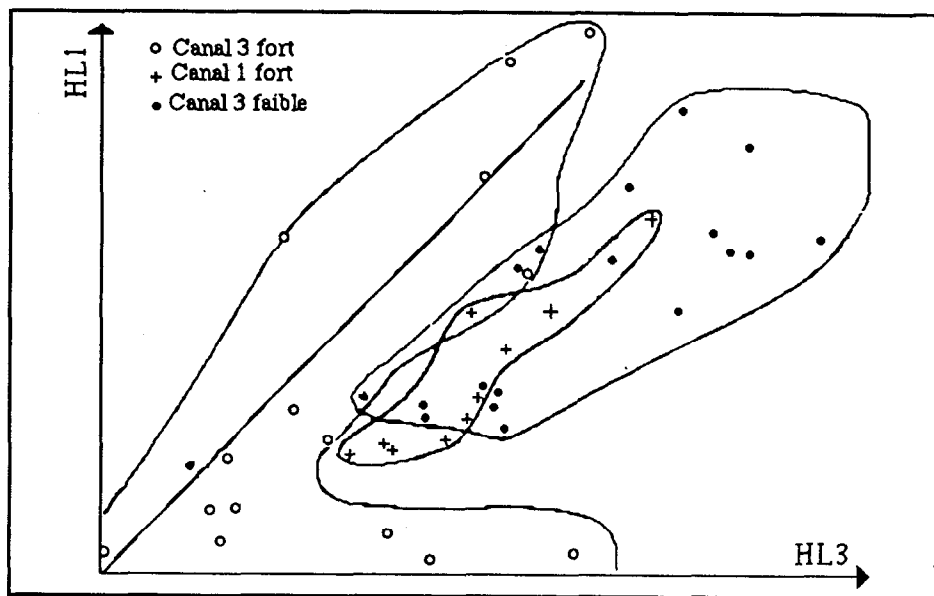


Figure : 11 Homogénéité Locale - Entropie canal 3 HI et EN canal 3 par groupe de centre de gravité

A ces quartiers, s'opposent les zones constituées d'objets à faible réflectance relative dans le canal 3, dont les images présentent davantage d'homogénéité: ce sont des zones à urbanisation plus dense, ou du bâti sur des surfaces partiellement dénudées (épandages de poussière...): zone du quartier d'Acahualtepec.

Entre les deux, des individus à texture moyenne se caractérisent par une réflectance comparablement plus forte dans le canal 1.

On notera la présence de deux zones isolées qui appartiennent au groupe des individus à faible réponse moyenne dans le canal 3, mais dont la texture est proche de celle calculée pour le groupe des fortes réponses spectrales dans le canal 3. Il s'agit d'une urbanisation à structure comparable au *canal-3-fort* (habitat dispersé) mais développée dans les conditions du *canal-3-faible*, vraisemblablement sur des épandages de poussière.

La figure 11 reprend le croisement des homogénéités locales pour les canaux 1 et 3. En ajoutant l'information sur la comparaison des valeurs de centre de gravité, comme précédemment, on remarque que la distribution se décompose en plusieurs secteurs, et que cette partition confirme la déviation constatée entre les canaux 1 et 3.

On voit en effet que le corps de la déviation est constitué par les quartiers à faible moyenne dans le canal 3, associé aux zones à forte réponse dans le canal 1 (essentiellement objets urbains). Au contraire, les *canal-3-fort* se répartissent de part et d'autre de la séquence principale, et se divisent en deux catégories:

- les zones les plus proches de la diagonale, c'est à dire dont la texture est comparable entre les deux canaux (on a ici les seuls individus caractérisés par une homogénéité locale plus forte dans XS1 que dans XS3);
- les zones dont l'homogénéité locale est notablement plus forte dans le canal 3, pour des homogénéités locales basses et constantes dans XS1.

Ces observations confirmeraient l'explication selon laquelle le choix thématique influence la distribution et en particulier, sous-estime globalement les valeurs d'homogénéité dans le canal 1.

Cette rapide application à l'aide d'un outil aussi rudimentaire que la moyenne des valeurs de gris illustre déjà les possibilités offertes dans l'exploitation des images par l'association des données d'origine radiométrique à l'information obtenue par traitement numérique. Une étude plus approfondie par classification radiométrique et analyse quantitative des objets classés, confrontée aux caractéristiques texturales de l'image doit permettre de retrouver les grands thèmes urbains.