

# De la théorie à la description : morphologie de l'habitat, dynamique spatiales et paysages urbains à Pikine (SENEGAL)

G. Salem<sup>a</sup>

C. Marois<sup>b</sup>

## Résumé

L'article développe l'idée qu'une réflexion méthodologique, au centre des objectifs d'un séminaire de "statistiques impliquées", n'est scientifiquement fondée que si elle est articulée à une réflexion théorique sur le processus de production de connaissances, et n'est disciplinairement constructive que si elle soumet les techniques aux objectifs de la recherche et non l'inverse. La géographie, comme les autres disciplines, est exposée au risque de voir dans les nouvelles techniques une échappatoire possible à une réflexion théorique. Les auteurs, partant des conditions mêmes de collecte de l'information sur l'habitat à Pikine (Sénégal), exposent l'intérêt et les limites de différentes techniques statistiques (cartographie descriptive, indices d'autocorrélations spatiales de Moran et Geary, Indice d'entropie de Shannon) dans l'étude de la morphologie urbaine et de la dynamique spatiale.

## Abstract

**Title:** *From theory to description : morphology of housing, spatial dynamics and urban landscapes in Pikine (SENEGAL)*

The article focuses on the principle that a methodological reflection can be scientifically grounded if there is a strong theoretical basis on the process of knowledge and also if the techniques are submitted to the research's objective. Geography, like other discipline is exposed to the risk that quantitative techniques could be a runaway or an evasion to theoretical thinking. The aim of the paper is to present the advantages and the limits of different statistical techniques ( Moran's autocorrelation statistic, Geary's autocorrelation statistic, Shannon's entropy statistic) in the study of urban morphology and spatial dynamics.

---

<sup>a</sup>Géographe, chargé de recherche à l'ORSTOM. Professeur associé à l'Université de Montréal, Groupe de Recherche Interdisciplinaire en Santé, Département de géographie. Tirés à part : G. Salem, Maison de la géographie - GIP Reclus, 17 Rue de l'Abbé de l'Épée, 34000 Montpellier, F.

<sup>b</sup>Géographe, Professeur au Département de géographie de l'Université de Montréal.

<sup>c</sup>Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement Alain Vaudor et Pierre Legendre, du Département de Biologie de l'Université de Montréal, de leurs conseils et l'utilisation de leur logiciel R, permettant notamment de réaliser les calculs d'autocorrélation spatiale.

“ Of course, the first thing to do was to make a grand survey of the country she was going to travel through. It's something very like learning geography, thought Alice, as she stood on a tiptoe in hopes of being able to see a little further”  
(L.Caroll, Through the looking glass and what she found there,1872)

Sur la pointe des pieds comme Alice ou des hauteurs d'une butte, les géographes contemplant des paysages. De cette observation méticuleuse et objective de formes simples, va naître une problématique !

De ruelles étroites en cul de sac le géographe était perdu dans une grande ville du Tiers Monde.

## **Paysages urbains, analyses spatiales et cartographie : du simple au complexe ou du confus au simplifié ?**

Cette communication n'a pas pour objet de discuter des problèmes épistémologiques de la géographie mais de souligner, au travers d'exemples concrets qu'une réflexion méthodologique, au centre des objectifs d'un séminaire de "statistiques impliquées", n'est scientifiquement fondée que si elle est articulée à une réflexion théorique sur le processus de production de connaissances et n'est disciplinairement constructive que si elle soumet les techniques aux objectifs de la recherche et non l'inverse.

La géographie est d'autant plus concernée par ces questions qu'elle connaît une évolution rapide de ses moyens techniques, tant dans les domaines du calcul que de la cartographie: analyse spatiale, cartographie assistée par ordinateur, Système d'Information Géographique, etc... Le nouveau risque pour la géographie est de voir en ces techniques nouvelles une échappatoire inespérée à l'urgente réflexion théorique: ce serait à la fois retomber dans les vieilles ornières de la discipline et gâcher les extraordinaires possibilités d'analyses offertes par ces nouvelles techniques. Il n'est pas sûr que le risque soit moindre dans les autres disciplines. Pourquoi cette "vigilance" ? Parce que la géographie est au coeur d'une tradition positiviste. Celle ci est fondée sur l'illusion qu'on partirait de faits simples, empiriquement observables et "objectivement" cartographiables, pour construire des problématiques et des modèles complexes.

En simplifiant, on peut dire que l'analyse géographique vise simultanément à une analyse morphologique - formes, couleurs, volumes, etc...- de l'espace et à une analyse dynamique montrant les tendances spatiales et temporelles d'un lieu. La tradition empiriste voudrait que le processus de connaissance soit parallèle à cette approche clinique, or, *il n'en est rien* comme veut l'illustrer cette étude de l'habitat à Pikine ( Carte n° 1: Situation). Notre objectif est de montrer les différentes étapes d'une approche scientifique, allant du confus et de l'impressionnel à la schématisation et de la schématisation à la complexité construite.

# 1 Matériaux et méthodes

Dans le cadre d'une recherche sur les relations entre urbanisation et santé à Pikine [1,2], nous avons accordé une attention particulière à la définition de l'environnement urbain [3,4], notamment de l'habitat. Notre enquête a commencé par la définition des différents sous-ensembles de la ville à partir de photographies aériennes ( Carte n° 2) et par des visites de terrains. La ville apparaissait alors comme un grand ensemble informe, marqué par une grande hétérogénéité d'ensemble et une grande hétérogénéité de détail: en clair, un immense fouillis. Pour systématiser notre connaissance, nous avons procédé, pendant plus d'une année, à des relevés de terrain par sondages dans 241 unités spatiales ( Carte n° 3) [5]. L'habitat principal de la parcelle a été décrit selon 5 caractères: parcelles vides, parcelles en construction, baraques, rez de chaussée en matériaux durables et constructions à étages. La méthode est grossière et ne tient pas compte de l'hétérogénéité interne aux parcelles. Ces données ont été rapportées sur des fonds cartographiques numérisés et ont fait l'objet des traitements variés exposés ci-dessous.

## 2 De l'impression visuelle à l'objectivation statistique

### 2.1 La morphologie urbaine

Les premières cartes réalisées décrivent la proportion de chaque type de parcelles dans chacune des unités spatiales: *la carte des parcelles vides de toutes constructions* (carte n° 4) met en évidence une opposition nette entre les faibles taux enregistrés dans les quartiers anciens de la ville et les différents fronts d'urbanisation, particulièrement le front irrégulier sur la marge orientale de la ville. Cette carte n'est guère différente de celle rapportant *les taux de parcelles en chantier* (carte n° 5). On remarque toutefois des taux non négligeables dans les quartiers nord de Guedjawaye, pourtant installés depuis plus de 20 ans. La carte des *taux de constructions précaires* (carte n° 6) constitue la première surprise: les plus forts taux se situent dans les quartiers Nord de Guedjawaye et sur une partie seulement du front d'urbanisation. Cette carte est le négatif de la carte des *constructions en matériaux durables* (carte n° 7), montrant la concentration des taux les plus forts dans les quartiers anciens de Pikine Irrégulier. La carte représentant *les constructions à étages* (carte n° 8) montre la concentration de ce type de construction dans la partie régulière et ancienne de la ville. Cette cartographie descriptive, abstraction de variables isolées pour les besoins de la recherche, permet ainsi d'établir une photographie fictive des lieux en un moment donné. Cartes simplifiées, elles sont sans grand rapport avec l'observation empirique du "terrain"<sup>1</sup>.

Ces cartes présentent un double inconvénient:

- l'interprétation cartographique est à la fois tributaire des décisions du cartographe (choix des trames et des classes de valeurs) et de la perception du lecteur ;

---

<sup>1</sup>Un calcul de taux par quotient de localisation aurait été possible: on établit alors les taux non sur une valeur fictive de 100 mais sur la moyenne des taux de l'ensemble de la ville. On obtient ainsi une représentation qui souligne les écarts à la moyenne. ( cf: G. Salem, C. Marois: Des taux aux quotients de localisation: Géographie des ethnies à Pikine. En préparation)

- ce type de représentation de l'espace, éclatée en plusieurs cartes, ne permet pas de vision synthétique réelle des combinaisons d'habitat: on ne définit ainsi des milieux de vie que par éclairages successifs.

Deux techniques d'analyse spatiale permettent de suppléer à chacun de ces défauts: les méthodes d'autocorrélations spatiales qui permettent notamment d'objectiver ces impressions visuelles et le calcul de l'indice d'entropie de Shannon qui permet de mesurer l'hétérogénéité interne des quartiers.

## 2.2 Du dessin à la mesure : les méthodes d'autocorrélation spatiale

### 2.2.1 Le concept d'autocorrélation spatiale

“Everything is related to everything,  
else, but near things are  
more related than distant things”  
(Tobler, 1975)[6]

L'autocorrélation spatiale est un concept central en géographie parce qu'il permet de mesurer la présence ou l'absence de structure géographique d'un phénomène dans l'espace. En effet, la plupart des phénomènes dans l'espace terrestre ont une structure spatiale dont la présence peut varier selon la caractéristique ou l'attribut à étude et selon l'échelle géographique. Autrement dit, il y a une relation de dépendance entre les lieux géographiques: peut-on imaginer qu'une ville dans une région donnée puisse évoluer indépendamment des autres villes de la même région ? Les notions de voisinage et de proximité sont importantes parce que, comme le souligne Tobler, l'existence d'une structure spatiale autocorrélative implique que les valeurs de zones contiguës ou de lieux très voisins se ressemblent : comme l' a souligné Stephan, les valeurs se rapportant à des unités géographiques sont liées comme les branches d'un arbre et non indépendants comme les balles d'une urne.

Soit  $X_i$  les valeurs des observations d'une variable  $X$ , il y a autocorrélation spatiale si les  $X_i$  dépendent en partie ou en totalité des autres valeurs  $X_i$  de la distribution. En d'autres mots, la valeur d'une variable en un lieu donné n'est pas totalement indépendante des valeurs prises dans les autres lieux particulièrement ceux qui lui sont voisins ou proches. Ces interdépendances devraient révéler un certain niveau d'organisation de l'espace souvent représenté par une fonction décroissante par rapport à la distance<sup>2</sup>.

L'autocorrélation spatiale est une *mesure descriptive* permettant de tenir compte à la fois de la localisation et de l'attribut du lieu: “L'autocorrélation spatiale décrit la dépendance moyenne des valeurs de la série par rapport aux valeurs situées à “k” unités de distances” [7]. On peut ainsi interpréter ou dégager les caractéristiques des variations spatiales d'un phénomène en fonction de l'espace. Ce n'est pas le cas de statistiques classiques comme la moyenne et la variance qui ne donnent pas d'indication sur les caractéristiques spatiales d'une distribution.

---

<sup>2</sup>La variable “distance” pouvant ne pas être seulement physique, mais également sociale ou culturelle.

## 2.2.2 Les mesures d'autocorrélation spatiale:

Il y a deux coefficients de mesure de contiguïté: celui de GEARY s'inspirant du test de DURBIN-WATSON et celui de MORAN qui est basé en partie sur l'équation de la corrélation.

### 1. Coefficient de GEARY [8] :

Le coefficient de GEARY met en relation chaque  $X_i$  avec les  $X_i$  voisins ou proches. La relation de voisinage ou de proximité peut être définie de différentes façons: contiguïté, voisinage au  $n^{ième}$  degré, longueur de frontière commune, distances entre deux centres géométriques, présence de barrières naturelles, etc... Le coefficient de Geary se calcule par l'équation:

$$C_{ij} = \frac{n-1}{2 \sum \sum W_{ij}}$$

$$\frac{\sum \sum W_{ij} (X_i - X_j)^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

où

$n$  = nombre de points ou de lieux géographiques

$W_{ij}$  = pondération représentant l'effet de la zone  $j$  sur la zone  $i$

$\sum \sum$  = sommes pour toutes les paires de zones  $ij$

$X_i$  = valeur de l'attribut pour le lieu  $i$

$X_j$  = valeur de l'attribut pour le lieu  $j$

$\bar{X}$  = moyenne de la variable  $X$

Il faut noter que tous les  $X_j$ , représentant les zones  $j$ , deviennent tour à tour des  $X_i$ .

Les valeurs de ce coefficient varie entre 0 et  $>1$  :

0 pour une autocorrélation spatiale positive.

1 pour l'absence d'autocorrélation spatiale.

$> 1$  pour une autocorrélation spatiale négative (dépasse rarement 3.0)

Ainsi, sous l'hypothèse  $H_0$ , la valeur attendue est 1, i.e. l'absence d'autocorrélation spatiale.

### 2. Coefficient de MORAN [8]:

Le coefficient de MORAN est comparable au coefficient de corrélation de Pearson. Il se calcule par l'équation suivante:

$$I_{ij} = \frac{n}{\sum \sum W_{ij}}$$

$$\frac{\sum \sum W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

La statistique de Moran est une statistique d'autovariance spatiale dont les valeurs attendues pour les grands échantillons varient entre  $-1.00$  et  $+1.00$  ; l'absence d'autocorrélation tend vers zéro. Une autocorrélation spatiale positive est une valeur supérieure à 0 et une autocorrélation négative est représentée par une valeur inférieure à 0. Le coefficient  $I$  est sensible aux valeurs extrêmes. Sous l'hypothèse nulle ( $H_0$ ),  $I$  et  $C$  se rapprochent d'une distribution normale quand la taille de l'échantillon augmente. Dans les deux équations, le nombre d'observations est un multiplicateur de l'expression: pour l'indice de GEARY, le multiplicateur est  $(n - 1)$ , pour celui de MORAN, le multiplicateur est  $(n)$ . Pour tester la signification du coefficient, on peut utiliser le test "t" de Student ou les tester comme des valeurs centrées réduites [9].

La mesure classique d'autocorrélation spatiale implique une mesure au plus proche voisin ou de zones immédiatement contiguës ou adjacentes. Ceci n'est pas suffisant car l'autocorrélation spatiale n'est pas la même à toutes les distances entre les points de la distribution: elle peut être tantôt positive, tantôt négative. Souvent, le coefficient est positif à courte distance puis suivie d'une valeur négative à plus longue distance. C'est pourquoi on doit tenir compte d'ordres de contiguïté supérieurs à 1. On peut par exemple définir une matrice de contiguïté d'ordre 2, où 2 zones sont contiguës par l'intermédiaire d'une troisième qui les sépare. Ainsi, deux zones "i" et "j" sont adjacentes à l'ordre 2 si une troisième "k" est adjacente à "i" et à "j" mais "i" et "j" ne le sont pas. La démarche est la même pour les ordres supérieurs. Cependant, cette "pondération spatiale" ( $W_{ij}$ ) qui représente l'effet de la zone j sur la zone i n'est pas la seule: elle ne se limite pas à la propriété de contact entre deux zones, le géographe peut faire intervenir d'autres critères comme ceux de la taille ou la forme des unités spatiales.

### 3. Corrélogramme: définition et interprétation.

Il faut être attentif à l'interprétation des coefficients de GEARY et de MORAN car les bornes d'interprétation ne sont pas les mêmes (Tableau 1). Une autocorrélation spatiale positive signifie qu'à une valeur élevée de  $X_i$  correspondent des valeurs élevées dans les zones contiguës ou à courte distance. Un moyen utile de représenter les valeurs successives des coefficients en fonction de la distance ou de différents ordres de contiguïté est le corrélogramme.

Un corrélogramme est un graphique comportant les valeurs d'autocorrélation spatiale en fonction de la distance: il montre les tendances  $R_{xx}(d)$  au fur et à mesure que la distance augmente d'où  $R_{xx}(d)$  est la corrélation ( $r$ ) de la variable  $X$  avec elle-même pour différents intervalles de distance. Une présomption importante de ce type de graphique est que le phénomène est considéré comme isotrope parce que les valeurs représentées sont les valeurs moyennes de l'autocorrélation *compte tenu de toutes les directions*. Cependant, cette difficulté peut être contournée en évitant d'introduire la distance physique (métrique) mais plutôt une distance tenant compte des contraintes spatiales.

Tableau 1: Bornes d'interprétation des coefficients de Geary (c) et de Moran (I).

		Geary (c)	Moran (I)
avec structure spatiale: dépendance entre les lieux	localisée regroupée	$0 < c < 1$	$I > 0$
	lissée dispersée contrastée	$c > 1$	$I < 0$
sans structure: indépendance entre les lieux	- indépendant non - corrélée aléatoire	$c = 1$	$I = 0$

(d'après Goodchild, 1986 [10])

La forme du corrélogramme dépend des coefficients d'autocorrélation spatiale pour chaque classe de distance ; en revanche, les coefficients sont fonction en partie de la taille de l'échantillon et de la matrice de connections (Wij).

La première étape consiste à tester l'ensemble des coefficients pour vérifier si le corrélogramme contient au moins une valeur significative à  $\alpha' = a/k$  (selon la méthode de BONFERONI:  $k$  = nombre d'intervalles de distances). Puis, on teste chaque coefficient où l'hypothèse nulle ( $H_0$ ) stipule que la valeur du coefficient I ou c n'est pas significativement différent de zéro ou de 1.

L'interprétation du corrélogramme s'effectue en fonction des coefficients positifs ou négatifs. Par exemple, si les coefficients d'ordre peu élevé sont forts et positifs, cela signifie que la valeur des points à courte distance se "ressemble". En revanche, si la valeur est élevée et négative, les voisins ne se "ressemblent" pas. Pour l'indice de Moran, Sokal [8] propose, comme point de départ, des interprétations tenant compte du signe et de la distance (Tableau 2). Une autocorrélation positive d'ordre peu élevé peut signifier une dispersion spatiale où le phénomène présente une distribution en rayonnement, en diffusion. On pourrait y trouver des petites concentrations homogènes dont le diamètre est plus grand que la distance entre les points mais dont l'espacement entre ces "taches" est plus grand que leur diamètre. De même, un coefficient de signe négatif à courte distance (d'ordre peu élevé) pourrait révéler la présence de petites concentrations hétérogènes, i.e. un environnement ou un habitat hétérogène. A l'opposé, les coefficients d'ordre plus élevé (à plus grande distance) présenteraient des caractéristiques spatiales différentes. Un coefficient positif pourrait signifier une symétrie spatiale où se trouvent des concentrations éloignées les unes des autres mais montrant des similarités; en revanche, un coefficient négatif pourrait représenter un gradient asymétrique.

### 2.2.3 Applications aux données sur l'habitat de Pikine

Les indices de Moran et de Geary calculés sur la base de 30 classes de distances euclidiennes équidistantes (Tableau n° 3 et histogramme) sont confrontés dans le

Tableau 2: Schéma d'interprétation de coefficients d'autocorrélation spatiale: (selon Moran)

où PD: diamètre des concentrations géographiques

où LD: distance inter-lieux ou locales

Autocorrélation spatiale: caractéristiques spatiales

Signe	ordre peu élevé	ordre élevé
Positif:	- dispersé  -grandes concentrations géographiques: PD > LD -l'espacement entre les concentrations est plus grand que le diamètre de PD: espacement > PD présence d'un gradient	-répartition spatiale présentant une certaine symétrie  -présence d'un arrangement géométrique
Négatif:	-petites concentrations hétérogènes	PD < LD

Source: tiré de Sokal (1979)[7]

graphique n° 1. Dans le cadre de cette recherche, nous avons choisi la distance euclidienne afin de faciliter la démonstration du concept et de la technique. Chaque variable présente un gradient ou une forme de corrélogramme qui, dans certains cas, se ressemblent. De plus, les résultats issus de Moran sont généralement cohérents avec ceux de Geary.

1. **Les parcelles nues:** à courte distance (1.5 km), il y a une structure autocorrélatrice positive indiquant l'existence de petites concentrations de ce type d'habitat; puis, à des distances d'ordre 10 à 20, l'autocorrélation spatiale est faible pour augmenter d'une façon significative sur des distances plus grandes (>3.5 km), reflétant ainsi une forte structure autocorrélatrice. Selon Geary, les coefficients se ressemblent sauf qu'à des distances d'ordre plus élevé, les valeurs ne sont pas statistiquement significatives. Bref, les résultats démontrent que les parcelles nues présentent de petits regroupements homogènes mais dont la dépendance avec l'espace est particulièrement élevée en périphérie.
2. **Les parcelles en chantiers:** l'allure du corrélogramme de Moran montre que les parcelles en chantiers présentent une structure regroupée sur des distances d'ordre élevé mais les concentrations de ce type d'habitat sont relativement éloignées les unes des autres. Encore une fois, les coefficients de Geary confirment l'analyse sauf à l'extrémité du corrélogramme où les valeurs ne sont pas statistiquement significatives. De plus, le gradient pour cette variable est plus net, plus clair que pour la variable précédente.
3. **Les baraques:** dans ce cas, les coefficients de Moran montrent une autocorrélation spatiale faible et ceux de Geary ne seraient pas significatifs à



des distances d'ordre peu élevé. Cependant, il y aurait une répartition très localisée et caractérisée par de petites concentrations éloignées les unes des autres.

4. **Les rez de chaussée:** dans les deux corrélogrammes, la présence d'autocorrélation spatiale est relativement faible ; alors la structure spatiale est faible et la distribution est aléatoire à des ordres de distance plus élevés.
5. **Les maisons à étages:** selon Moran, la structure spatiale est présente et illustrerait un habitat très dispersé tout en confirmant l'existence de petites concentrations dans l'espace.

Les deux graphiques supérieurs de synthèse mettent en évidence une forte homogénéité des indices dans le groupe des voisins distants de moins de 2000 mètres, le phénomène d'autocorrélation spatiale étant d'autant plus fort que les distances sont courtes et non significatif à distance moyenne ( 2000 à 4000 mètres). Ce premier enseignement confirme l'impression visuelle de concentrations spatiales de pourcentages équivalents de types d'habitats identiques. Des différenciations nettes de comportement spatial des différentes variables apparaissent à partir de 4000 mètres et s'accroissent jusqu'aux classes de distances les plus fortes, mais ces différenciations s'expriment de façon différentes avec l'un et l'autre indice:

- l'amplitude entre les indices de Moran est d'autant plus forte que les types d'habitat sont opposés: à longue distance, le phénomène d'autocorrélation spatiale est très fort pour les types d'habitat inachevé ( parcelles vides ou en construction, images des fronts d'urbanisation), moyen pour les types d'habitats intermédiaires ( baraques et rez de chaussée en matériaux durables) et sans signification pour les constructions à étages. Ces tendances sont illustrées par les graphiques représentant les indices de Moran par variables.
- si les amplitudes entre les indices de Geary s'accroissent au delà de 3000 mètres, ces valeurs indiquent toutes qu'il n'y a plus de phénomène d'autocorrélation spatiale à la seule exception, curieuse, des baraques. Cet indice semble moins porteur de significations géographiques que celui de Moran. L'interprétation de ce traitement statistique reste donc très empirique, et la lecture des études réalisées avec ces méthodes confirment les difficultés d'interprétation. Dans le cas d'une démarche géographique, l'interprétation est facilitée par les documents cartographiques qui se révèlent heureusement complémentaires ( Cartes 4,5,6,7,8). Cette méthode descriptive est particulièrement intéressante dans l'étude de petits espaces denses ou l'on cherche à superposer et croiser des variables de types différents, issues d'enquêtes menées de façon différentes: on a ainsi une possibilité de comparer le facteur distance sur un même lieu, pour des variables différentes.

En l'état actuel de cette méthode, on ne peut que souligner l'extrême prudence nécessaire à leur utilisation en raison de ses propres limites: c'est à la fois une mesure descriptive où chaque coefficient est une *valeur moyenne* pour un intervalle de distance ou une distance précise, quelque soit la direction dans l'espace, et quelque soient les espaces non occupés ( ce qui

est le cas de la grande dépression marécageuse dans le quart nord-est de la ville). Le phénomène étudié est donc présumé isotrope. Les variogrammes, tenant compte de la direction dans l'espace, compléteraient utilement cette recherche.

### 3 Du paysage urbain à la carte complexe : approche synthétique de l'hétérogénéité interne des quartiers

Si les documents cartographiques et statistiques obtenus à ce point de la recherche nous renseignent sur les facteurs distances dans la morphologie de l'habitat, il ne nous disent rien de l'hétérogénéité interne aux quartiers, celle la même qui définit le mieux le milieu de vie d'une population, et... qui se rapproche le plus de la perception du terrain. Plusieurs méthodes ou indices permettent de ressortir les caractéristiques spatiales d'une distribution de points, i.e. l'arrangement géométrique de la distribution, la fréquence et le degré d'étalement des phénomènes. Elles permettent de mesurer le degré de concentration géographique d'une distribution, notamment l'indice d'entropie de Shannon.

#### 3.1 Le concept et la méthode

On peut recourir à la notion d'entropie pour mesurer la dispersion d'une distribution ou l'hétérogénéité de la structure d'une zone. L'équation pour une zone "i" est:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij})$$

où  $p_{ij}$  = proportion de la variable "j" d'une zone "i"

La valeur de H est maximale lorsqu'il y a une dispersion spatiale du phénomène ou hétérogénéité de la zone: Hmax est égale à 1.0 à la condition de diviser H par le ln "n". En revanche, H égale à 0 lorsqu'il y a une concentration géographique ou une structure homogène de la zone parce que tous les " $p_{ij}$ " égale à 0 sauf une qui égale l'unité.

#### 3.2 L'hétérogénéité interne des quartiers

La carte représentant les différents indices de Shannon, indice synthétique d'hétérogénéité interne (Carte 9), dessine une géographie coupant grossièrement la ville en deux parties: les quartiers anciens du centre géométrique de la ville, d'urbanisation régulière comme irrégulière, remarquables par leur faible hétérogénéité interne, et les quartiers des fronts régulier et irrégulier de la ville, d'autant plus hétérogènes qu'ils sont aux marges de l'espace urbain comme le montrent les histogrammes des sous-zones. Cette carte complète, en les localisant indirectement, les résultats d'autocorrélations spatiales: homogénéité des quartiers "installés" et hétérogénéité des quartiers en cours, ou en retard, d'installation.

Cette carte est d'un intérêt majeur pour qui s'intéresse aux dynamiques urbaines de la ville: elle marque une homogénéisation progressive des quartiers avec

le temps. Il reste à déterminer, en appliquant le même type de traitement statistique sur des données tirées de photographies aériennes, les rythmes et les types d'homogénéisation: un quartier reste-t-il marqué par le type d'urbanisation qui lui a donné naissance? Les rythmes d'homogénéisation sont-ils les mêmes dans les différents quartiers de la ville, les mêmes aux différentes phases de construction de la ville? etc... Le "retard d'urbanisation" de Guedj Awaye, pourtant installé dès les années 70, est là pour montrer le processus différentiel que connaît la ville.

L'étude des photographies aériennes depuis la création de la ville [1]) nous avait en effet permis de dire que l'accélération du processus d'urbanisation de Pikine était paradoxale: d'une part les quartiers nouveaux sont d'emblée construits en "dur", avec une emprise foncière sur les terrains agricoles de plus en plus anticipée, d'autre part le délai de construction des parcelles s'est considérablement allongé.

L'utilisation de ce type de techniques se révèle ainsi très riche: il permet de donner une idée de la complexité du cadre de vie et permet, par l'étude des photo-aériennes antérieures, de décrire les dynamiques urbaines dans une perspective diachronique. En revanche, cette méthode ne permettant pas de définir les combinaisons d'habitat, *un même indice pouvant cacher des combinaisons différentes*, elle ne donne que peu d'indication sur les processus de différenciation d'ensemble de la ville. L'utilisation des méthodes de classification, (analyse en composante principale, K.Means avec ou sans contrainte de contiguïté, etc...) constitue logiquement l'étape suivante de cette recherche [11].

## Conclusion

Notre projet était de tester différentes méthodes d'analyses spatiales au regard des objectifs spécifiques de la géographie: analyse morphologique et étude des dynamiques spatiales. Les méthodes utilisées demandent certes la plus grande prudence d'interprétation, elles n'en constituent pas moins des moyens d'objectivation d'impressions visuelles et/ou cartographiques. Elles sont surtout l'illustration qu'une démarche scientifique, allant grossièrement du confus au simplifié puis du simplifié au complexe, ne gagnerait certes rien à une simplification des traitements statistiques (comme s'ils étaient d'autant plus neutres qu'élémentaires!), mais aurait plus encore à perdre si la réflexion théorique était laissée de côté pour la seule recherche de recettes. Si l'utilisation de ces techniques relance des débats théoriques sur la géographie, il n'est pas sur pour autant que ces questions soient tout à fait nouvelles, ni propres à cette discipline!

## Références Bibliographiques

- [1] Salem G. : *Urbanisation et santé dans le Tiers Monde: l'exemple de Pikine*. Rapport de convention au Ministère de la Recherche et de la Technologie. 5 volumes synthèse 48p+ recueil des textes rédigés sur Pikine, Orstom-MRT, Paris (440 p, 220 p, 130 p, 178 p).
- [2] Salem G. et E. Jeannée, eds : *Urbanisation et santé dans le Tiers-Monde: transition épidémiologique, changement social et soins de santé primaires*, Orstom, Collection Colloques et Séminaires, Paris, 1989, 548 p.
- [3] Jeannée E. et G. Salem : Situations particulières des zones urbaines in *La santé en pays tropicaux*. Planifier, gérer, évaluer, A.Rougemont et J.Brunet Jailly eds, Doin-ACCT,1989 Paris, pp193-218.
- [4] Salem G. : *Approche et méthodes géographiques pour la planification sanitaire dans les villes africaines*. Communication au colloque de Bamako, 5-7 juillet 1991
- [5] Salem G. : Géographe : Ne dire que ce qui se voit ou donner à voir? in *Tropiques, Lieux et liens*, Hommage à P.Pélissier et G.Sautter, Orstom-CNRS coll Didactiques, Paris, pp 291-295
- [6] Tobler, W. : " A computer movie simulating urban growth in the Detroit Region". *Economic Geography* (Supplement) 46, 234- 40. 1975
- [7] Legendre, L. et P. Legendre (1984) : "*Ecologie numérique*" tomes 1 et 2, PUQ-Montréal, Masson-Paris.
- [8] Sokal, R.R. : "Ecological parameters inferred from spatial correlograms." in Patil, G. P. and Rosenzweig, M. L. (eds): *Contemporary quantitative ecology and related econometrics*. *Statistical Ecology Series* Vol. 12 pp. 167-196. International Cooperative Publ. House. Fairland, Maryland. 1979
- [9] Cliff, A. D. and J.K. Ord (1973) "*Spatial autocorrelation*". Pion. London.
- [10] Goodchild, M. (1986) : "*Spatial autocorrelation*". *Concepts and techniques in modern geography*. CATMOG. no. 47, East Anglice
- [11] Salem G. et P. Waniez, et al. : Modélisation géographique de l'utilisation des services de santé dans les villes du Tiers Monde: applications aux recours thérapeutiques à Pikine, in *Géographie et socio-économie de la santé*, CREDES, UGI, Paris, juin 1989, pp 35-49.

Tableau 3:

En caractères gras , les indices d'autocorrélation significatifs  
 N.B: Tous les corrélogrammes sont statistiquement significatifs selon le test de Bonferroni

CLASSES	DISTANCES (mètres)	FREQUENCES	I Moran piles nues	C Geary piles nues	I Moran piles chantier	C Geary piles chantier
1	204	281	<b>0,3112</b>	<b>0,2657</b>	<b>0,3507</b>	<b>0,2516</b>
2	408	1009	<b>0,3057</b>	<b>0,3236</b>	<b>0,3815</b>	<b>0,2861</b>
3	612	1460	<b>0,2318</b>	<b>0,3651</b>	<b>0,2975</b>	<b>0,3534</b>
4	816	1789	<b>0,1995</b>	<b>0,3783</b>	<b>0,2479</b>	<b>0,3869</b>
5	1020	2101	<b>0,1787</b>	<b>0,4187</b>	<b>0,2308</b>	<b>0,4319</b>
6	1224	2281	<b>0,1273</b>	<b>0,4813</b>	<b>0,1708</b>	<b>0,4957</b>
7	1428	2331	<b>0,0779</b>	<b>0,6217</b>	<b>0,1135</b>	<b>0,5901</b>
8	1631	2319	<b>0,0156</b>	<b>0,7589</b>	<b>0,0588</b>	<b>0,7039</b>
9	1835	2310	<b>-0,0384</b>	<b>0,9318</b>	<b>-0,0073</b>	<b>0,891</b>
10	2039	2276	<b>-0,1399</b>	<b>1,18</b>	<b>-0,0759</b>	<b>1,0655</b>
11	2243	2168	<b>-0,1882</b>	<b>1,2562</b>	<b>-0,156</b>	<b>1,2408</b>
12	2447	1799	<b>-0,2361</b>	<b>1,4471</b>	<b>-0,2527</b>	<b>1,4645</b>
13	2651	1549	<b>-0,2468</b>	<b>1,4891</b>	<b>-0,2593</b>	<b>1,5301</b>
14	2855	1221	<b>-0,3018</b>	<b>1,6501</b>	<b>-0,3223</b>	<b>1,6228</b>
15	3059	1044	<b>-0,2823</b>	<b>1,7338</b>	<b>-0,4229</b>	<b>1,8703</b>
16	3263	812	<b>-0,2491</b>	<b>1,7929</b>	<b>-0,4673</b>	<b>2,097</b>
17	3467	602	<b>-0,3138</b>	<b>2,0701</b>	<b>-0,4753</b>	<b>2,1632</b>
18	3671	415	<b>-0,1349</b>	<b>2,2274</b>	<b>-0,4547</b>	<b>2,2456</b>
19	3875	294	<b>0,2542</b>	<b>1,9654</b>	<b>-0,3456</b>	<b>2,2223</b>
20	4079	223	<b>0,3175</b>	<b>2,2475</b>	<b>0,0444</b>	<b>1,9957</b>
21	4283	154	<b>0,6027</b>	<b>2,2206</b>	<b>0,1796</b>	<b>2,0884</b>
22	4487	129	<b>1,1637</b>	<b>1,7566</b>	<b>0,4787</b>	<b>1,7434</b>
23	4690	104	<b>1,0721</b>	<b>1,5363</b>	<b>0,8859</b>	<b>1,7419</b>
24	4894	82	<b>0,4857</b>	<b>1,4999</b>	<b>0,7481</b>	<b>1,8317</b>
25	5098	57	<b>0,1782</b>	<b>1,5738</b>	<b>0,9458</b>	<b>1,5568</b>
26	5302	45	<b>0,4259</b>	<b>1,6798</b>	<b>1,1837</b>	<b>1,8276</b>
27	5506	36	<b>0,8234</b>	<b>1,6307</b>	<b>1,4721</b>	<b>1,5011</b>
28	5710	17	<b>1,3299</b>	<b>1,8307</b>	<b>2,1777</b>	<b>1,7038</b>
29	5914	10	<b>1,1082</b>	<b>0,7851</b>	<b>2,3453</b>	<b>2,0988</b>
30	6118	2	<b>2,3274</b>	<b>3,1024</b>	<b>3,2444</b>	<b>3,1313</b>

CLASSES	I Moran baraques	C Geary, baraques	I Moran RDC	C Geary, RDC	I Moran, étages	C Geary, étages
1	<b>0,3633</b>	<b>0,6147</b>	<b>0,4176</b>	<b>0,4039</b>	<b>0,3253</b>	<b>0,3147</b>
2	<b>0,2245</b>	<b>0,6739</b>	<b>0,3507</b>	<b>0,5082</b>	<b>0,3793</b>	<b>0,4491</b>
3	<b>0,1512</b>	<b>0,8161</b>	<b>0,2577</b>	<b>0,6293</b>	<b>0,2812</b>	<b>0,5117</b>
4	<b>0,1161</b>	<b>0,8571</b>	<b>0,1894</b>	<b>0,6817</b>	<b>0,2205</b>	<b>0,5545</b>
5	<b>0,0321</b>	<b>0,9289</b>	<b>0,1306</b>	<b>0,7518</b>	<b>0,1605</b>	<b>0,6575</b>
6	<b>-0,0593</b>	<b>1,0364</b>	<b>0,0406</b>	<b>0,8408</b>	<b>0,0825</b>	<b>0,6882</b>
7	<b>-0,095</b>	<b>1,0724</b>	<b>-0,0313</b>	<b>0,9275</b>	<b>0,0447</b>	<b>0,7775</b>
8	<b>-0,0903</b>	<b>1,105</b>	<b>-0,0661</b>	<b>1,0217</b>	<b>0,0751</b>	<b>0,7502</b>
9	<b>-0,0737</b>	<b>1,1068</b>	<b>-0,1119</b>	<b>1,1412</b>	<b>0,0402</b>	<b>0,8842</b>
10	<b>-0,0488</b>	<b>1,0948</b>	<b>-0,1251</b>	<b>1,1864</b>	<b>0,068</b>	<b>0,8475</b>
11	<b>-0,0041</b>	<b>1,0663</b>	<b>-0,1226</b>	<b>1,1866</b>	<b>-0,0115</b>	<b>0,9343</b>
12	<b>0,0145</b>	<b>1,0129</b>	<b>-0,1311</b>	<b>1,2248</b>	<b>-0,051</b>	<b>1,0048</b>
13	<b>0,0239</b>	<b>1,0358</b>	<b>-0,1224</b>	<b>1,2105</b>	<b>-0,1876</b>	<b>1,2601</b>
14	<b>-0,024</b>	<b>0,9504</b>	<b>-0,0915</b>	<b>1,2229</b>	<b>-0,2612</b>	<b>1,4763</b>
15	<b>-0,0028</b>	<b>0,9596</b>	<b>-0,1426</b>	<b>1,275</b>	<b>-0,3044</b>	<b>1,5683</b>
16	<b>-0,0194</b>	<b>0,9844</b>	<b>-0,1384</b>	<b>1,2031</b>	<b>-0,3321</b>	<b>1,7178</b>
17	<b>-0,0062</b>	<b>0,8461</b>	<b>-0,1018</b>	<b>1,1267</b>	<b>-0,4</b>	<b>2,1178</b>
18	<b>-0,0715</b>	<b>0,9562</b>	<b>-0,0538</b>	<b>1,1752</b>	<b>-0,4887</b>	<b>2,3798</b>
19	<b>-0,1111</b>	<b>0,9601</b>	<b>0,0621</b>	<b>1,0391</b>	<b>-0,5817</b>	<b>3,0182</b>
20	<b>-0,1817</b>	<b>1,1512</b>	<b>0,199</b>	<b>1,0373</b>	<b>-0,6591</b>	<b>3,2069</b>
21	<b>-0,0468</b>	<b>0,8912</b>	<b>0,2323</b>	<b>0,9619</b>	<b>-0,529</b>	<b>2,5739</b>
22	<b>-0,023</b>	<b>0,9504</b>	<b>0,3183</b>	<b>0,8913</b>	<b>-0,2612</b>	<b>2,7725</b>
23	<b>-0,1415</b>	<b>1,1667</b>	<b>0,3744</b>	<b>0,8926</b>	<b>-0,505</b>	<b>2,6336</b>
24	<b>-0,1546</b>	<b>1,2755</b>	<b>0,3004</b>	<b>1,0426</b>	<b>-0,6779</b>	<b>3,1545</b>
25	<b>-0,1086</b>	<b>1,1821</b>	<b>0,1577</b>	<b>1,196</b>	<b>-0,7044</b>	<b>2,8673</b>
26	<b>-0,1224</b>	<b>1,3049</b>	<b>0,228</b>	<b>1,2303</b>	<b>-0,5945</b>	<b>2,0078</b>
27	<b>-0,056</b>	<b>0,9685</b>	<b>0,2584</b>	<b>1,2987</b>	<b>-0,5891</b>	<b>1,9567</b>
28	<b>0,1719</b>	<b>0,3159</b>	<b>0,3769</b>	<b>0,8744</b>	<b>-0,624</b>	<b>1,9752</b>
29	<b>0,1364</b>	<b>0,4488</b>	<b>0,4429</b>	<b>0,7136</b>	<b>-0,8961</b>	<b>3,0006</b>
30	<b>0,451</b>		<b>0,6002</b>	<b>0,7953</b>	<b>-0,7932</b>	<b>2,5967</b>

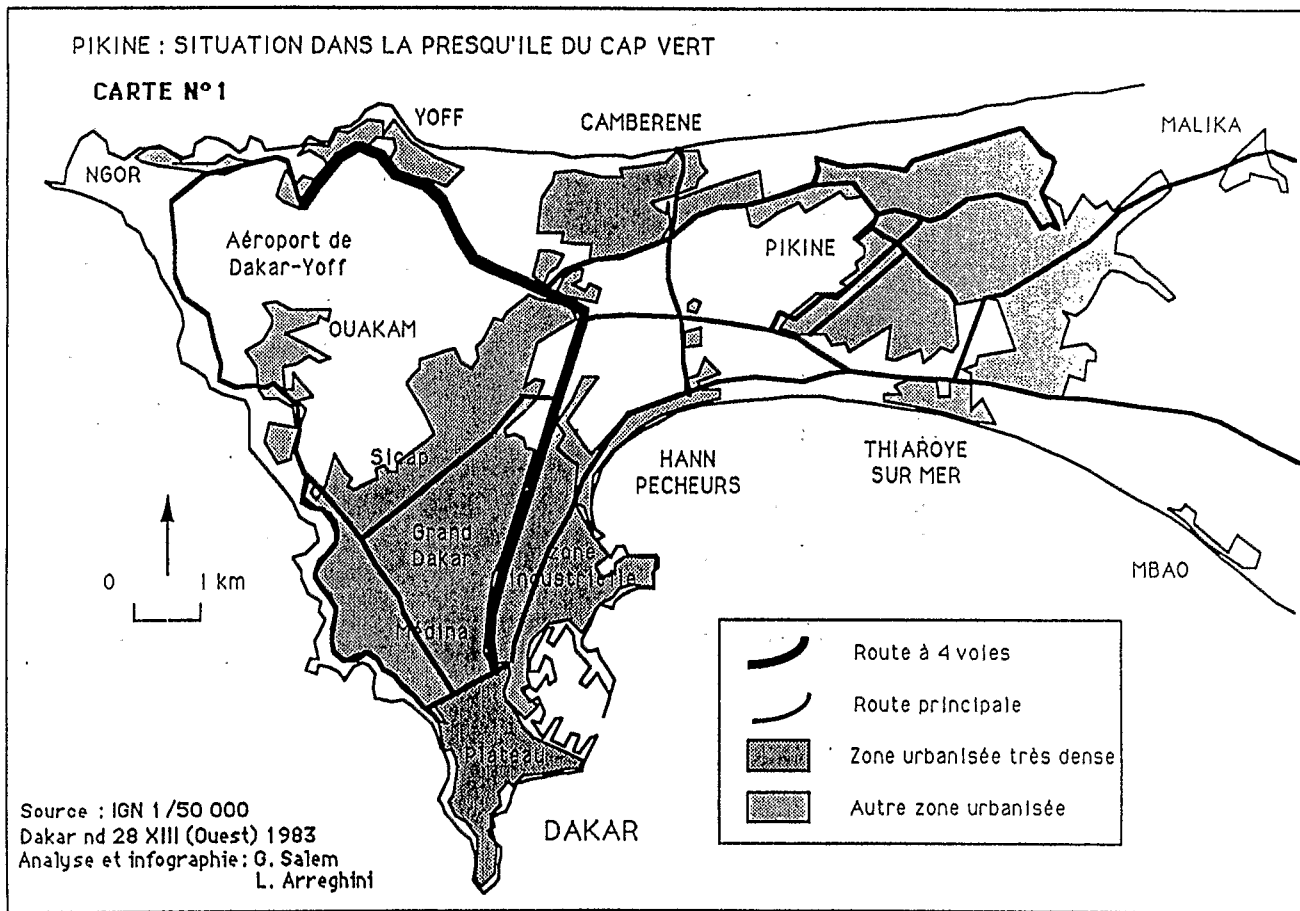


Figure 1:

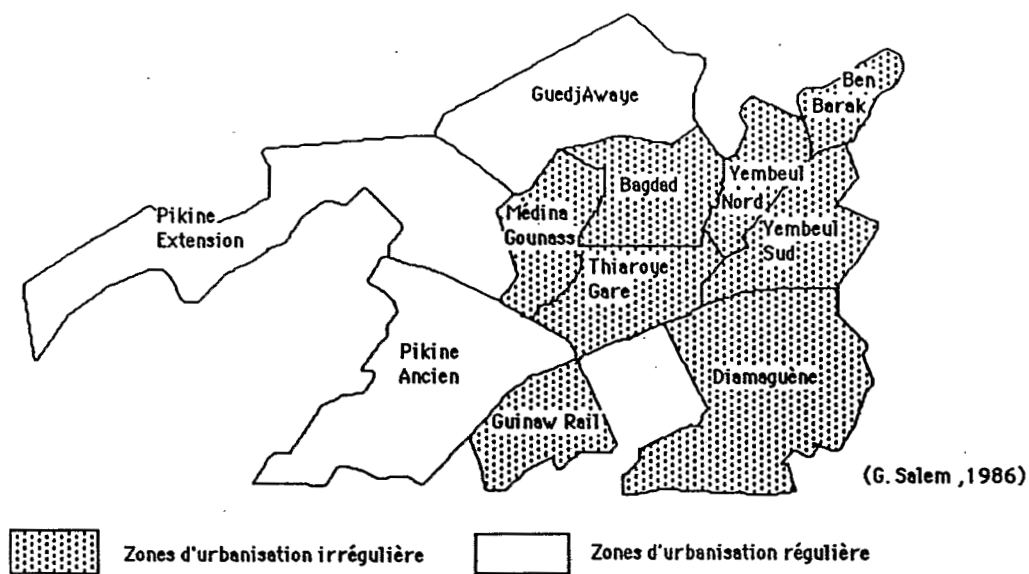


Figure 2: Carte n° 2 : Pikine 1987. Grandes divisions de l'espace pikinois.

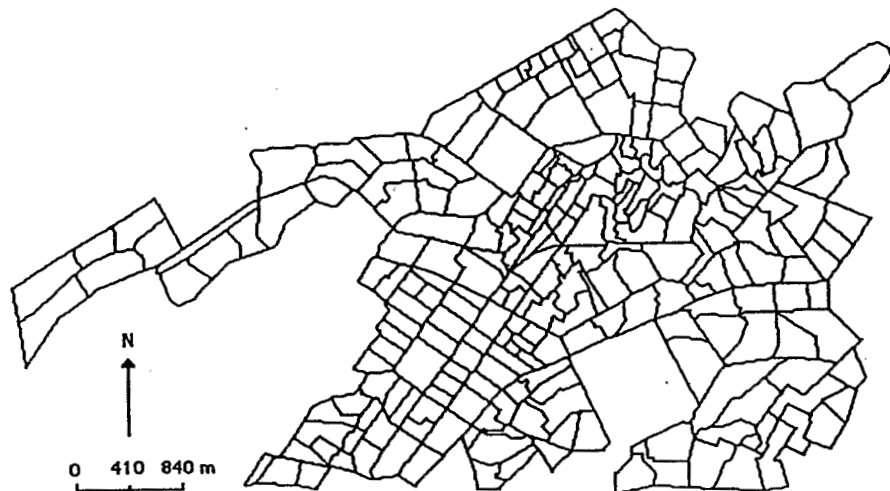


Figure 3: Carte n° 3 : Les quartiers de Pikine (1986). Relevés de terrains : G.Salem, 1986. Infographie : G. Salem et L. Arreghini

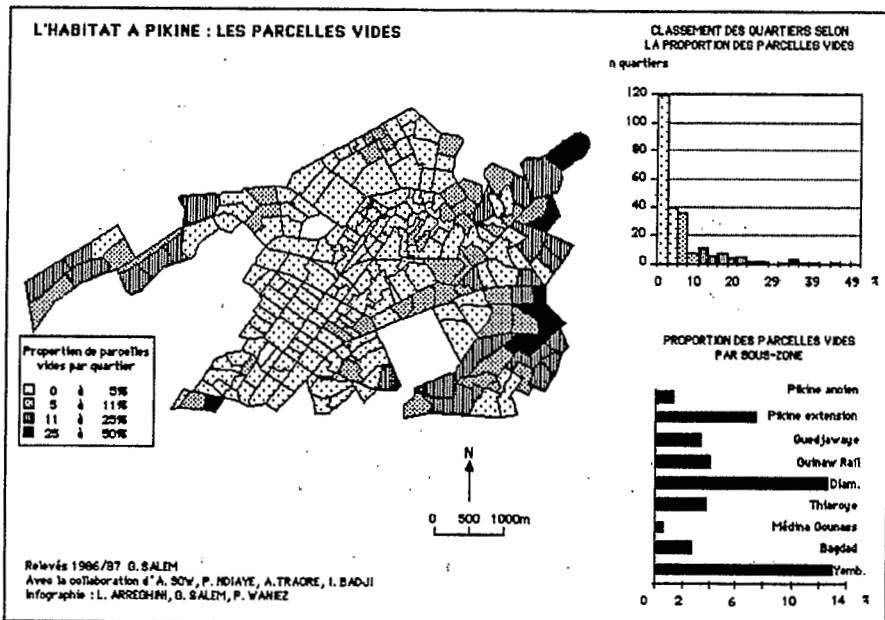


Figure 4: L'habitat à Pikine : les parcelles vides

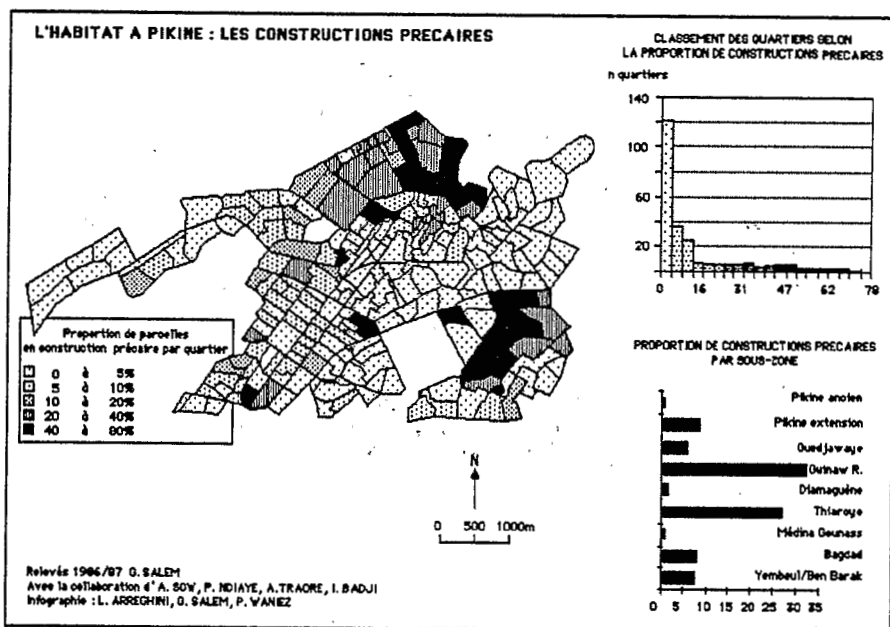


Figure 5: L'habitat à Pikine : les constructions précaires



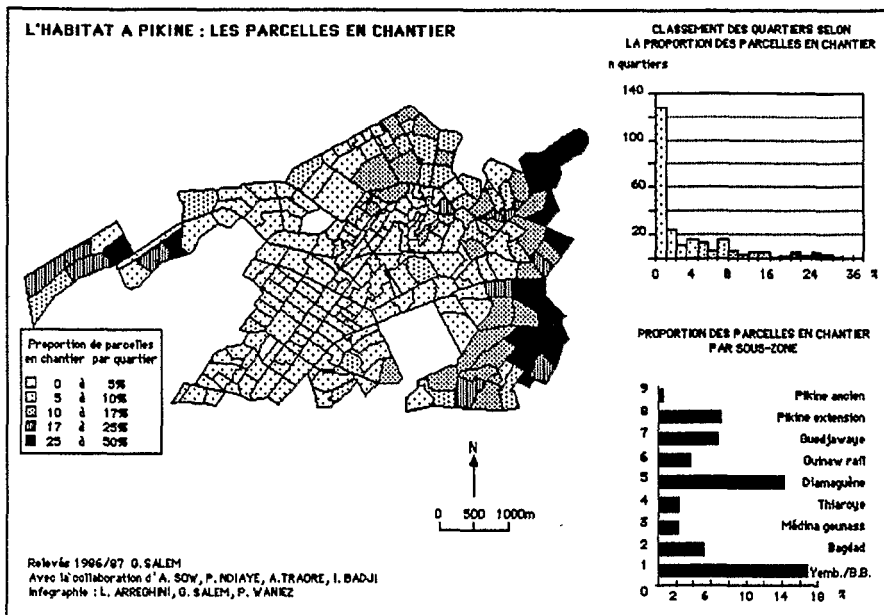


Figure 6: l'habitat à Pikine : les parcelles en chantier

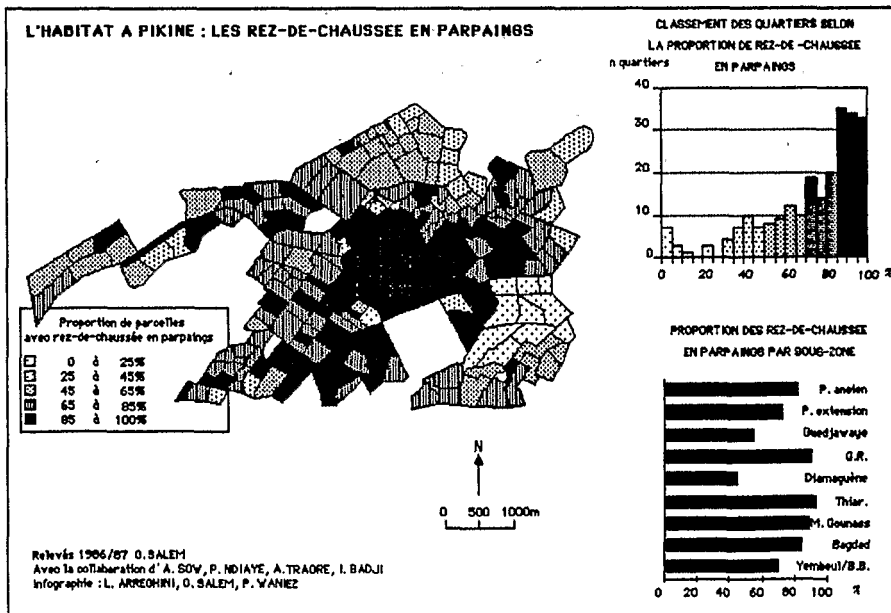


Figure 7: L'habitat à Pikine : Les rez-de-chaussée en parpaings

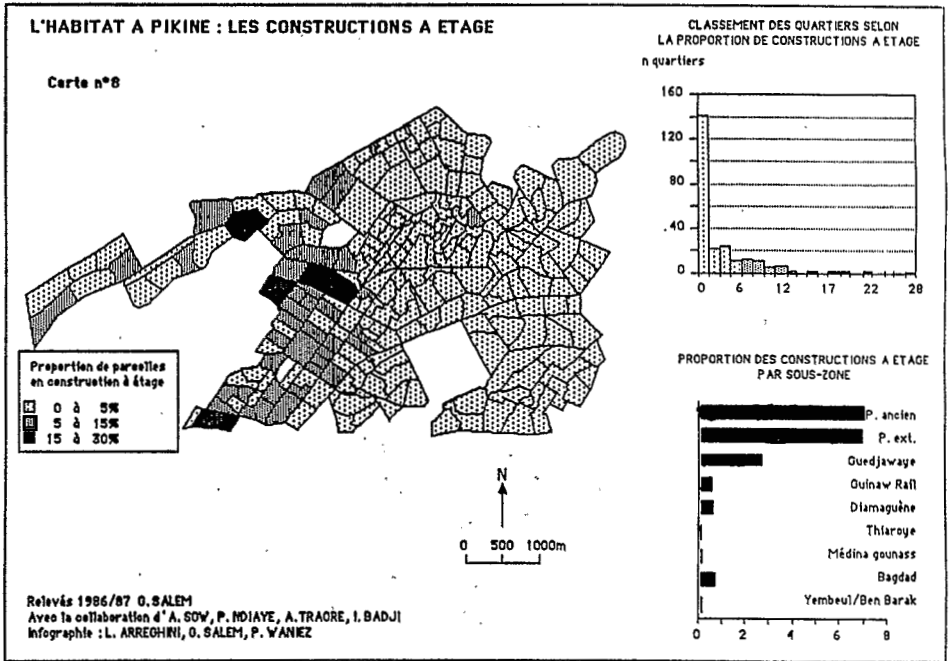


Figure 8:

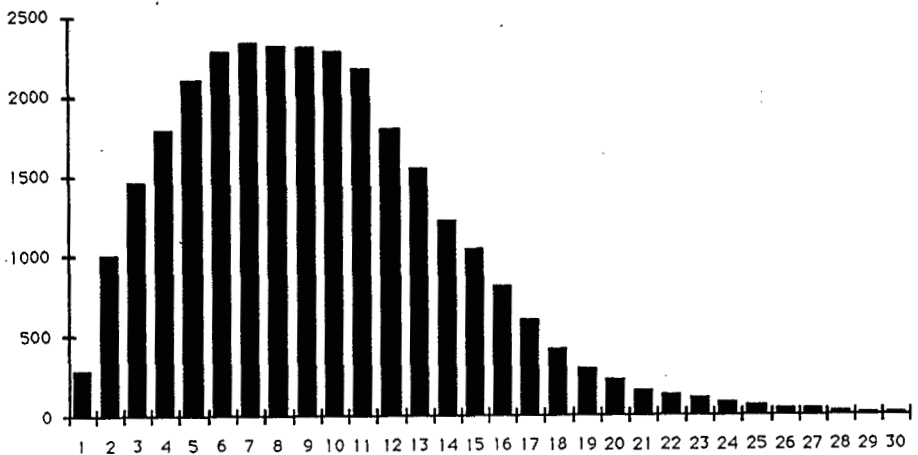
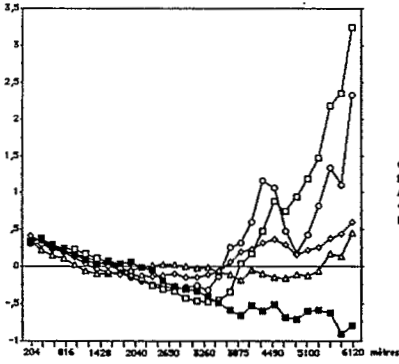


Figure 9: Fréquences des classes de distances

INDICES DE MORAN



INDICES DE GEARY

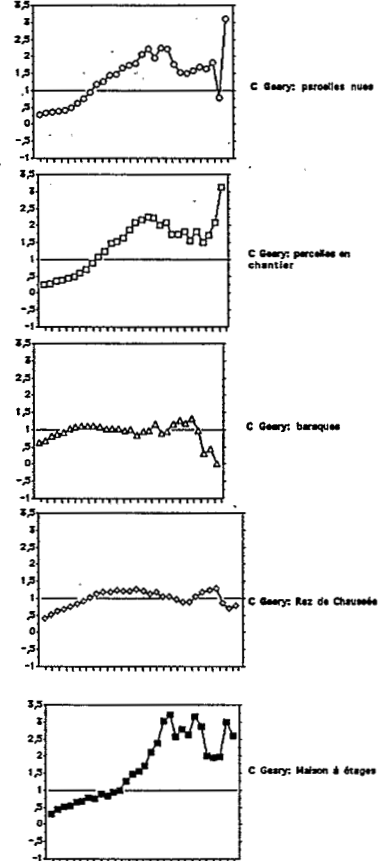
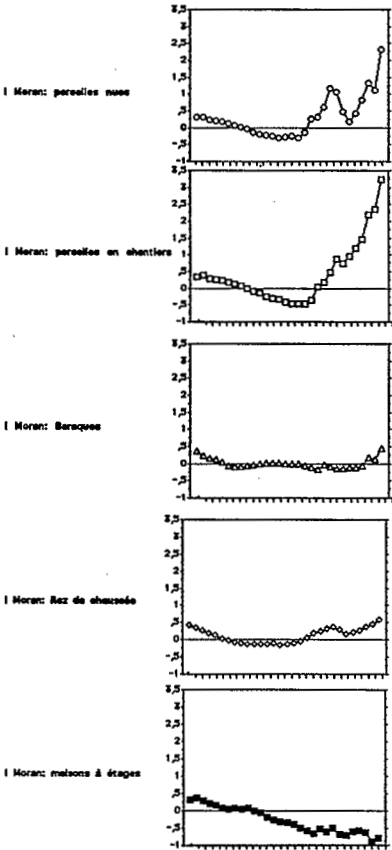
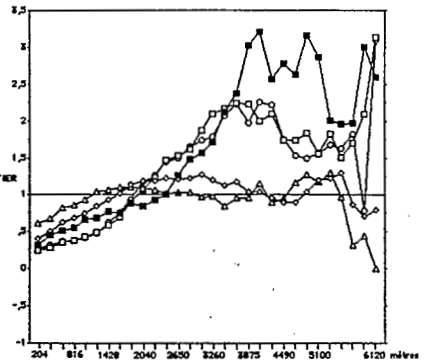
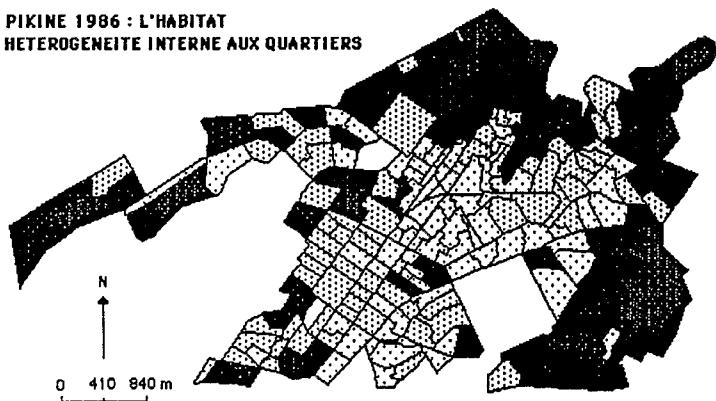


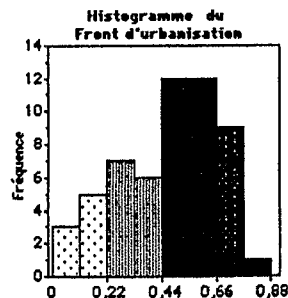
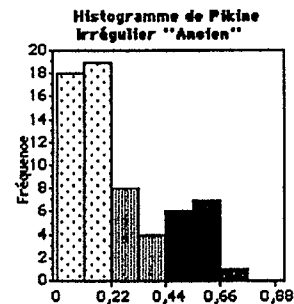
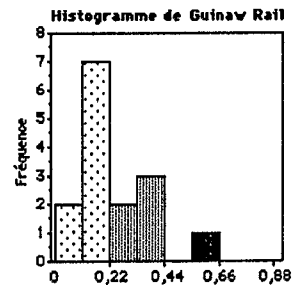
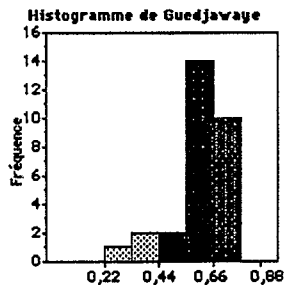
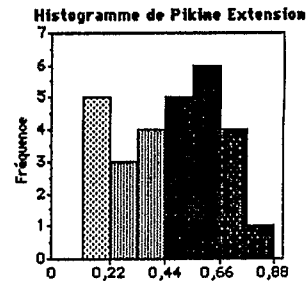
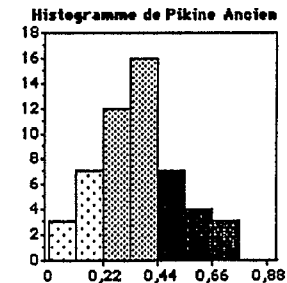
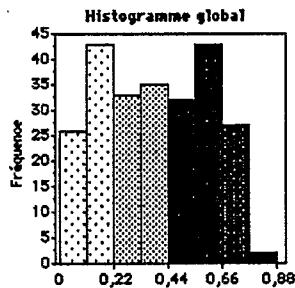
Figure 10: Autocorrelations spatiales des différents types d'habitat à Pikine (distances euclidiennes)

Carte n°9

**PIKINE 1986 : L'HABITAT  
HETEROGENEITE INTERNE AUX QUARTIERS**



INDICE DE SHANNON	HETEROGENEITE
	0,00-0,22 TRES FAIBLE
	0,22-0,44 FAIBLE
	0,44-0,66 MOYENNE
	0,66-0,88 FORTE



Relevés 1986/87 G. SALEM  
Avec la collaboration d' A. SOU, P. NDIAYE, A. TRAORE, I. BADJI  
Infographie et traitements : G. SALEM et C. MAROIS

Figure 11: Carte n° 9. Pikine 1986 : l'habitat, hétérogénéité interne aux quartiers. Relevés 1986/87 G.Salem. Avec la collaboration d'A. Sow, P. Ndiaye, A.Traore, I. Badji. Infographie et traitements : G. Salem et C.Marois.