

# Lieux de vie, densités et zones à risques : l'analyse spatiale au service de la santé à Pikine (Sénégal)

Gérard Salem<sup>a</sup>

Claude Marois<sup>b</sup>

Louis Arréghini<sup>c</sup>

Philippe Waniez<sup>de</sup>

## Résumé

Les études épidémiologiques accordent une attention croissante aux facteurs environnementaux, tant biogéographiques, que sociaux, culturels ou même affectifs, afin de définir l'environnement d'un individu ou d'un groupe social selon des facteurs de risques supposés. Cela suppose que les lieux de vie doivent être définis, ce qui est particulièrement délicat en zone urbaine. Les auteurs montrent à partir de l'exemple des densités de population dans la ville de Pikine (Sénégal), les méthodes géographiques et l'analyse spatiale en surface de tendances sont d'un grand recours pour la définition des différentes échelles de lieux de vie et l'inférence de données d'échantillons à l'entité spatiale étudiée. Cette approche spatialement hiérarchisée (parcelle, quartier, zone) accorde une attention particulière aux combinaisons d'échelles.

**Mots clefs :** environnement urbain, densité, analyse spatiale, facteurs de risques

## Abstract

*Life-Spaces, density on Health-Risk areas - : Spatial Analysis Methods for Public health in an African town, Pikine (Senegal).*

Environmental determinants- biogeographical as well as social, cultural or affective factors are more and more important in epidemiological studies. The aim is to define the environment of a person or a population in geographic space in regard to hypothetical risk factors. But the definition of the life-space of an individual or a population is difficult, especially in urban areas. Using the example of urban densities in the town of Pikine (Senegal), the authors show the utility of a geographical approach based on spatial analytic methods, especially trend surfaces

<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 : Gérard Salem, Maison de la Géographie -GIP Reclus, 17 rue de l'Abbé de l'Épée, 34000 Montpellier, France.

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

<sup>c</sup>Géographe, allocataire de recherches à l'ORSTOM Nouméa.

<sup>d</sup>Géographe, chargé de recherche à l'ORSOM, Maison de la Géographie de Montpellier.

<sup>e</sup>Cette recherche a bénéficié du concours de Pape Ndiaye et Abdul Sow, enquêteurs à l'ORSTOM Dakar, Nicolas Sivignon et Nathalie Buech, étudiants en géographie.

analysis, in defining the different scales of life-spaces and in permitting inferences from sample-based studies of the whole area. This spatially hierarchical approach (individual property parcel, neighborhood, zone) highlights the distribution of risk factors linked to particular sanitary problems that are specific to each life-space scale, and it also emphasizes various scale combinations.

Key words : urban environment, density, spatial analysis, risk factors

Qu'il s'agisse de pathologies infectieuses et parasitaires ou de pathologies non transmissibles, les études épidémiologiques accordent une attention croissante aux facteurs environnementaux. Ces facteurs sont de tous ordres, biogéographique, social, culturel ou même affectif. Toutes ces recherches ont en commun de tenter de définir l'environnement d'un individu ou d'un groupe social, donc à le situer dans l'espace par rapport à des facteurs de risques supposés. Les problèmes de localisation dans l'espace sont au centre des recherches des géographes. Ils ont pour cela recouru aux théories et aux méthodes de d'analyse spatiale. L'étude qui suit a pour objectif d'appliquer certaines de ces méthodes aux problèmes spécifiques de facteurs de risques environnementaux pour la santé dans des zones urbaines africaines.

## 1 Spécificités épidémiologiques des villes africaines

D'un point de vue épidémiologique, on peut caractériser les villes africaines par un triple trait: il s'agit d'un milieu dense, ouvert et hétérogène [1]. L'étude des densités de population est donc d'un intérêt particulier en zone urbaine, tant pour l'épidémiologie des maladies transmissibles liées à la promiscuité que de celles liées au stress et plus généralement au cadre de vie; ce cumul de pathologies recouvre la notion de transition épidémiologique [2,3]. Les lieux de vie sont particulièrement difficiles à définir en milieu urbain. Chacun, en fonction de son âge, de son sexe, de ses activités, a un espace de vie différent: quoi de commun entre l'espace de vie du travailleur traversant la ville pour aller à son travail, celui de sa femme commerçante au marché, celui de leur enfant scolarisé dans une classe de 100 élèves ou celui de l'enfant en bas âge jouant dans la demeure familiale ou la ruelle? Dans la ville africaine, les distances sont autant sociales que physiques et la définition des lieux de vie d'un individu se heurte à la difficulté de tracer des frontières dans un espace aussi dense. Il n'y a pas de définition parfaite du lieu de vie d'un individu, seulement des définitions partielles au regard d'un problème épidémiologique particulier. Les méthodes de l'analyse spatiale sont d'un grand apport pour traiter de ces problèmes, mais sont malheureusement peu utilisées en épidémiologie et en démographie. Elles visent à mettre en évidence des relations d'organisation et de différenciation spatiales, notamment par le jeu des pesanteurs spatiales proprement dites. Parmi ces méthodes, l'analyse en surfaces de tendances s'applique particulièrement bien à la définition de lieux de vie.

## 2 Principes et méthodes de l'analyse en surfaces de tendances

Plus répandue chez les géographes anglophones [4, 5, 6, 7] et québécois [8] qu'en France [9, 10], l'analyse en surfaces de tendances est utilisée dans tous les domaines de la géographie, notamment en géographie de la santé [11,12]. Florin [13] en propose une définition pour l'ensemble des utilisations géographiques possibles: décomposition de chaque observation d'une variable distribuée spatialement en composantes associées aux effets régionaux et locaux. Etablissement d'une fonction reliant les valeurs des points dans l'espace aux coordonnées géographiques pour établir une surface de tendance et examiner les résidus. Appliquée à la géographie de la santé d'une ville africaine, l'analyse en surfaces de tendances cherche une fonction permettant de définir des gradients spatiaux de population et, ainsi, de construire par inférence une couverture complète d'un lieu. Cette méthode a pour principal avantage de définir les continuités (ou les seuils) entre plusieurs lieux d'étude spatialement disjoints.

### 2.1 Les méthodes d'analyse en composantes d'échelle et surfaces de tendances.

Ces méthodes géostatistiques peuvent établir la surface de tendance en plusieurs composantes d'échelle, par exemple régionale et locale. Une méthode de filtrage cartographique<sup>1</sup> permet de décrire une carte ou une distribution spatiale selon plusieurs échelles géographiques distinguant les effets locaux des tendances générales. La difficulté est de dégager les tendances générales de variations locales, car les distributions géographiques sont le plus souvent complexes, en raison de la multiplicité des processus et interactions en jeu. L'une des techniques de filtrage les plus connues est celle des surfaces théoriques permettant de décomposer chaque observation en une tendance générale et une tendance locale, grâce à un modèle de régression linéaire dont les variables explicatives, au sens statistique, sont les coordonnées géographiques. La décomposition de la variable s'effectue par l'ajustement d'un modèle statistique de plusieurs régressions qui comportent chacune leurs présomptions de base. On peut ainsi construire une surface du meilleur ajustement en forme de plan incliné donnant une perspective spatiale de l'orientation et de l'inclinaison d'une distribution. Cette surface d'ajustement est un espace à trois dimensions de la droite de régression ou de la courbe de régression. On fait appel au modèle de régression multiple, où l'on cherche une description des lois de distribution d'une variable  $Z$  à  $n$  valeurs en fonction des variables  $V_i$  définies selon le modèle

$$Z(x, y) \sim \mathcal{N}(f(x, y), \sigma^2 I_n)$$

$$\text{où } f(x, y) = a + \sum_{i=1}^p b_i v_i$$

$v_i = x_l y_k$  avec  $l + k \leq d$  ( $d$ : le degré de la surface); les variances de  $Z(x, y)$  étant toutes égales à  $\sigma^2$  et les variables normales  $Z(x, y)$  étant indépendantes entre elles. La fonction  $f(x_i, y_i)$  décrit l'espérance de  $Z_i$  en fonction des coordonnées  $x_i$  et  $y_i$ .

Dans le cas de surfaces de tendances, la variable dépendante est fonction de la localisation représentée par un couple de coordonnées. Si  $Z$  est la variable

<sup>1</sup>le filtrage est une opération de composition de surface.

dépendante et  $x$  et  $y$  les variables dépendantes représentant les coordonnées géographiques, alors la fonction devient :  $E(Z) = f(x, y)$

On peut ajuster une surface ou un plan dans la distribution passant aussi près que possible de chacun des valeurs  $Z$  observées. Les paramètres  $a$  et  $b_1 \cdots b_p$  de la fonction  $f(x, y)$  sont estimés par la méthode des moindres carrés, c'est-à-dire en recherchant les valeurs  $\hat{a}$  et  $\hat{b}_1 \cdots \hat{b}_p$  telles que la somme des carrés des écarts entre valeurs observées et ajustées soit minimale.

La forme de la surface ou du plan dépend du degré polynomial. Le problème est de trouver une surface de faible degré, compatible avec les hypothèses du modèle.

## 2.2 La méthode

La méthode consiste à extraire une surface de tendance des processus locaux (fluctuations aléatoires ou erreurs de mesure ou variations locales). La surface de tendance étant la fonction "prédictive", la valeur observée à un point donné est égale à la somme de la valeur de la tendance à ce point donné et le résidu :

$$Z_i = f(x_i, y_i) + R_i$$

où

$Z_i$  = valeur observée au point  $i$ ,

$x_i$  = la coordonnée  $x$  du point  $i$ ,

$y_i$  = la coordonnée  $y$  du point  $i$ ,

$R_i$  = le résidu au point  $i$ .

Plusieurs surfaces de tendance sont possibles; la plus simple, le plan incliné, est construite à partir de 3 paramètres :

$a$  : la valeur de la surface à l'origine ( $x = y = 0$ ),

$b_1$  : la pente selon l'axe des  $x$ ,

$b_2$  : la pente selon l'axe des  $y$ .

Son équation est  $Z_i = a + b_1 x_i + b_2 y_i$ , qui définit une surface de tendance linéaire au premier degré. Les résidus expriment la différence entre la valeur observée  $Z_i$  et la valeur correspondant à la surface de tendance.

La méthode des moindres carrés est la méthode permettant de minimiser les erreurs au carré, cependant, il faut choisir le meilleur ajustement parmi les différentes surfaces d'ordre "q": pour cela, on peut utiliser les tests statistiques classiques permettant de juger si une surface donnée réduit de façon significative les écarts à une moyenne simple (absence d'effet spatial) ou de comparer des surfaces de degrés différents. L'objectif est de trouver une surface satisfaisante avec le degré le plus faible possible. Les tests sont en fait utilisés à titre indicatif, dans la mesure où les hypothèses nécessaires à leur validité ne sont que très rarement rencontrées dans le domaine qui nous concerne (indépendance et non centralité des résidus, homogénéité des variances).

### 3 L'exemple des densités de population à Pikine: vocabulaire, matériaux et méthodes.

#### 3.1 Vocabulaire et définitions

Pour rendre compte de l'hétérogénéité urbaine, micro, méso et macroscopique de la ville, nous avons choisi d'étudier les différenciations spatiales de densités aux 3 différentes échelles où cette hétérogénéité est définie: parcelle, quartier et zone. En effet, à la grande diversité d'ensemble de la ville s'ajoute une grande diversité de détail. Le croquis n° 1 montre les unités spatiales retenues et l'intérêt d'une approche spatialement hiérarchisée: rien, en effet, ne permet de dire, a priori, que les densités de population à ces différentes échelles varient de la même façon dans l'espace, ni même qu'elles varient parallèlement l'une par rapport à l'autre.

**On appelle parcelle**, l'espace regroupant la ou les maisons et la cour; cet espace est le plus souvent délimité par des palissades et correspond à ce que l'on appelait autrefois le "carré", unité mono ou multifamiliale.

**On appelle quartier**, un ensemble d'îlots d'habitations en y incluant la petite voirie; cette échelle correspond à l'espace de vie sociale, notamment des enfants et des adultes sans activité extérieure.

**On appelle zone**, l'espace homogène, du point de vue des tissus urbains, comprenant les parcelles, les quartiers, les équipements collectifs et la grande voirie. Cette unité d'analyse, qui permet une évaluation globale de la population [15], est la plus souvent retenue pour définir les "densités de population".

#### 3.2 Matériaux, analyse et résultats

Sans autre document que les cartes que nous avons établies - les évaluations officielles de la population de Pikine variaient alors de 400 000 à 1 400 000 habitants! - nous avons mené des études à ces différentes échelles:

##### 1. Calculs et cartographie des densités de population des parcelles :

Par une série de relevés dans 1240 parcelles d'habitations regroupées en 90 îlots, nous avons rapporté les chiffres de population enregistrés dans ces parcelles lors des dénombrements réalisés pour une enquête démographique de l'Orstom sur la mortalité [14] aux surfaces de parcelles que nous avons mesurées (carte n° 1). Nous avons ainsi obtenu 90 chiffres de densité moyenne de parcelles correspondant aux 90 îlots visités et établi notre première matrice spatiale associant aux coordonnées X et Y du centre géométrique de l'îlot la valeur moyenne de densité Z. La fonction trouvée a été appliquée à l'ensemble des barycentres des 241 quartiers inventoriés sur Pikine pour en permettre la cartographie. La carte tirée de cette analyse en surface de tendances (carte n° 2) permet de mettre en évidence une faible tendance spatiale, expliquant à l'ordre trois, 31,6% de la variance ( $D.D.L = 9/80$ ,  $F = 4,104$ ,  $p = 0,0001$ ), marquant un gradient du nord-ouest au sud-est. Il est important de souligner que si cette carte correspond grossièrement à celle de l'habitat précaire et des zones privées de nombreux équipements collectifs comme l'eau potable publique, elle ne correspond pas aux découpages juridiques entre ville régulière et ville de squatters. Elle n'en désigne pas moins des zones à risques virtuels au regard des pathologies de promiscuité domestique, telle la rougeole ou la tuberculose.

## 2. Calculs et cartographie des densités de population des quartiers.

On a mesuré la superficie de 89 quartiers spatialement représentatifs de l'agglomération et dénombré dans chacun d'eux le nombre de parcelles (carte n° 3). On a multiplié le nombre de parcelles<sup>2</sup> dans chacun de ces quartiers par le nombre moyen d'habitants par parcelle des 29 grandes zones de Pikine auxquelles ils appartiennent et divisé par la surface. On a ainsi obtenu 89 densités de quartier qui, rapportées au barycentre de chacun d'eux, a permis de construire une deuxième matrice spatiale. La fonction trouvée a été appliquée à chacun des 242 quartiers comme expliqué plus haut, expliquant 51,2% de la variance (D.D.L 5/83,  $F=17,404$ ,  $p=0,001$ ), au deuxième degré de la régression. La carte de cette analyse en surface de tendances (carte n° 4) met en évidence un triple gradient de densité, partant du centre-ouest de la ville (correspondant aux quartiers dits de Pikine loti récent) vers les périphéries Sud, Nord et Est. Ces gradients de densités de quartier ne recouvrent pas ceux de densités de parcelle et désignent, par exemple, les quartiers les plus denses aux plus forts risques virtuels de transmission parasitaire par contacts telluriques.

## 3. Is et cartographie des densités de population des zones.

En utilisant la méthode d'analyse des photographies aériennes mise au point par M. Vernière [15], on a défini 29 zones dans Pikine - d'après la mission de photographies aériennes au 1/20 000ème de 1980 et nos relevés complémentaires de terrain (carte n° 5) - homogènes du point de vue des tissus urbains. On a cumulé à cette échelle les parts de surfaces construites pour l'habitation, les équipements collectifs et la grande voirie. Les chiffres de densité obtenus ont été affectés à chacun des 89 quartiers témoins et l'on a ainsi obtenu une troisième matrice spatiale. La fonction trouvée a été appliquée comme expliqué précédemment aux 241 quartiers. 49,7% de la variance est expliquée (D.D.L 5/83,  $F=16,398$ ,  $p=0,001$ ), au deuxième degré de la régression. La carte établie (carte n° 6) confirme en les nuancant les tendances observées à l'échelle des quartiers. Cette échelle pourrait exprimer une première cartographie des facteurs de risques d'accidents de la route. Cette échelle est en outre celle qui nous a permis d'évaluer la population de Pikine avec moins de 10% de différence par rapport aux résultats du recensement national [16], et surtout de disposer de dénominateurs de populations pour chaque des 241 unités spatiales que compte l'étude.

### Conclusion:

Cette étude montre que la combinaison des facteurs de risques liés aux densités de populations, aux différentes échelles, dessine une géographie originale: les cartes obtenues ne correspondent pas aux découpages "naturels" entre ville régulière et ville irrégulière (carte n° 7), grossièrement l'opposition entre ville des riches et ville des pauvres. L'analyse en surfaces de tendances se révèle être une technique particulièrement utile dans les études épidémiologiques de zones urbaines<sup>3</sup> où la

<sup>2</sup>un calcul plus raffiné devrait prendre en compte le type de construction des parcelles : matériaux précaires, constructions en matériaux durables.

<sup>3</sup>Si l'intérêt d'une approche hiérarchisée dans l'espace, en fonction d'une question explicitement posée, nous semble ressortir clairement de ces différentes cartes, on ne peut esquiver la difficulté à montrer l'articulation entre ces différentes échelles de densité. La faible tendance spatiale observée dans les densités de population calculées au niveau des parcelles d'habitations ne le permet pas.

définition de limites et donc de milieux de vie est délicate. Elle permet d'une façon plus générale de dire si l'inférence d'enquêtes par échantillon à l'entité spatiale est possible. Elle souligne également l'importance d'un échantillonnage spatialement représentatif par rapport à un problème sanitaire donné, faute de quoi on passerait à coté de la diversité des situations urbaines et priverait ainsi les planificateurs de la santé d'un bon outil d'identification de zones à risques.

## Références bibliographiques

- [1] Jeannée E., Salem G. : Situations particulières des zones urbaines, in *La santé en pays tropicaux. Planifier, gérer, évaluer* sous la direction de A. Rougemont et J. Brunet Jailly . Doin-ACCT, 1989, Paris, pp193-218.
- [2] Phillips, R.D. : *Health and Health care in the Third World*, Londres,1990, Longman.
- [3] Salem G. : Introduction aux actes de Pikine in Salem. G, Jeannée. E (ed- s): *Urbanisation et santé dans le Tiers Monde: transition épidémiologique, changement social et soins de santé primaires*, Orstom, Collection Colloques et Séminaires, Paris, 1989, 548p.
- [4] Gatrell A.C. : *Distance and space: a geographical perspective*. Clarendon Press, Oxford, 1983.
- [5] Wrigley N. : *Probability surface mapping*, Norwich, CATMOG n° 16, 1977.
- [6] Unwin D. : *Introductory spatial analysis*, Methuen, London,1981.
- [7] Unwin D. : *An introduction to trend surface analysis*, Catmog 6, Geo abstract Norwich, 1975
- [8] Lemay G. : *L'étude de la tendance spatiale*, Université Paris X- Nanterre, Informatique-Informations, N° 5, 1984.
- [9] Groupe Chadule : *Initiation aux pratiques statistiques en géographie*, Masson, Collection Géographie, 1987.
- [10] Waniez P., Le Gauffrey Y. : *Les données et le territoire. Initiation à l'analyse en surfaces de tendances*, Orstom, Collection Initiations et documentations techniques, n° 69, Paris, 1987.
- [11] Meade M., Florin J., Gessler W. : *Medical geography*. The Guilford Press. New York 1988
- [12] Cliff A.D., Hagett P. : *Atlas of disease distributions. Analytic approach to epidemiological data*, Blackwell, New York,1988, 300p.
- [13] Florin W. : *The uses of spatial analysis in medical geography: a review*, Social Sciences and Medecine, Vol.23, n° 10, pp 963-973, 1986.

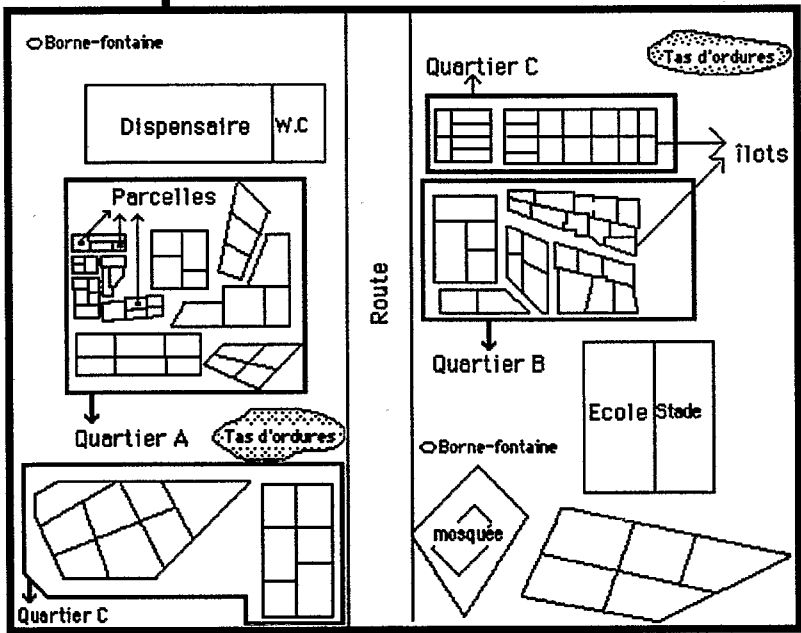
- [14] Antoine P., Diouf P.D. : Indicateurs de mortalité des enfants et conditions socio-économiques en milieu urbain; premiers résultats d'une enquête menée à Pikine. in *Urbanisation et santé dans le Tiers Monde: transition épidémiologique, changement social et soins de santé primaires*, 548p. Salem. G , Jeannée. E (eds scientifiques), Orstom, Collection Colloques et Séminaires, Paris 1989, pp 505-514.
- [15] Vernière M. : *Dakar et son double. Dagoudane Pikine. Volontarisme d'état et spontanéisme populaire dans l'urbanisation du Tiers Monde*, Imp. Bibliothèque Nationale, 1977.
- [16] Salem G., Arreghini L. : *Evaluations spatialisées rapides de la population des villes africaines : l'exemple de Pikine*. *Population*, n° 4/5 -1991

Logiciels utilisés : Stat View 2, Systat, Map Maker, Excel.



ZONE

Croquis n°1

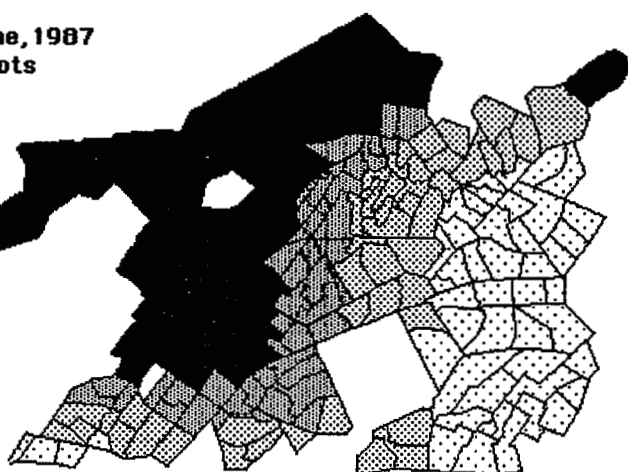
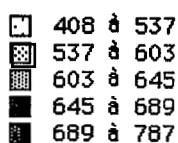


Carte n°1: Pikine  
Parcelles enquêtées



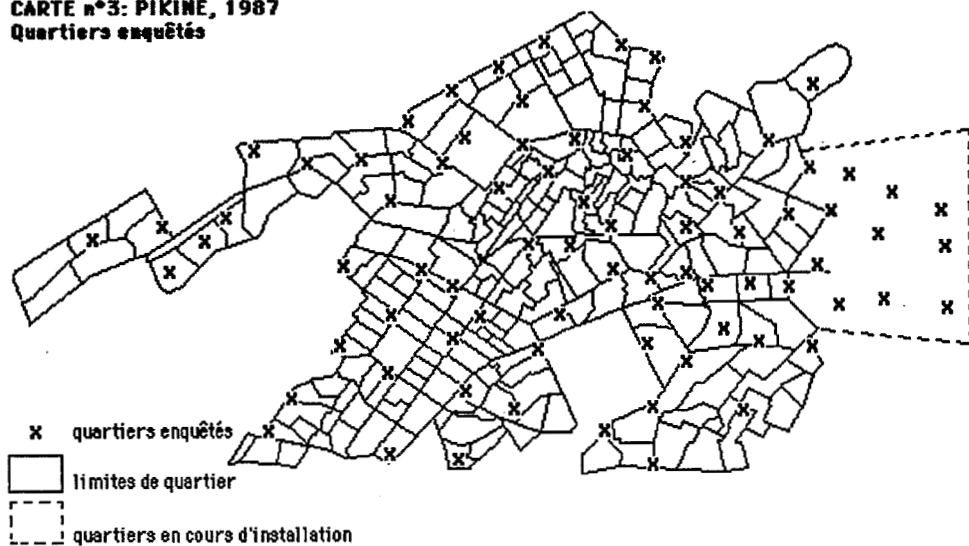
**Carte n°2: Pikine, 1987**  
**Densités des îlots**



Nombre d'habitants  
à "l'hectare d'îlot"



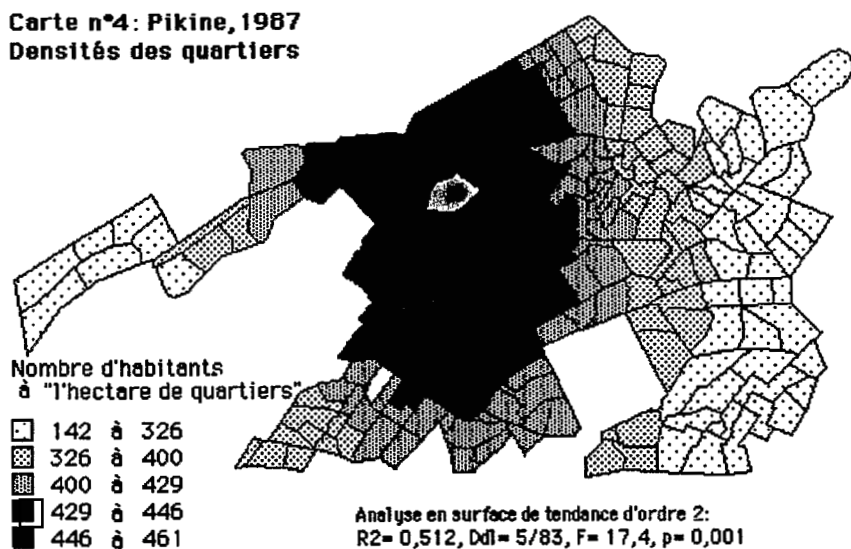
Analyse en surface de tendance d'ordre 3  
 $R^2: 0,316$ ,  $Dd1 = 9/80$   $F = 4,104$ ,  $p = 0,0001$

**CARTE n°3: PIKINE, 1987**  
**Quartiers enquêtés**

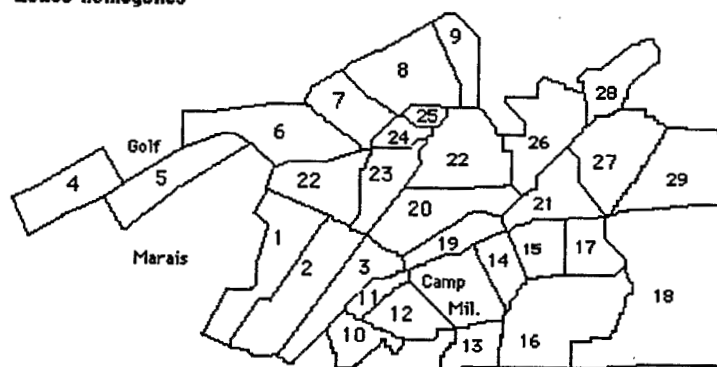


**x** quartiers enquêtés  
 limites de quartier  
 quartiers en cours d'installation

**Carte n°4: Pikine, 1987**  
**Densités des quartiers**

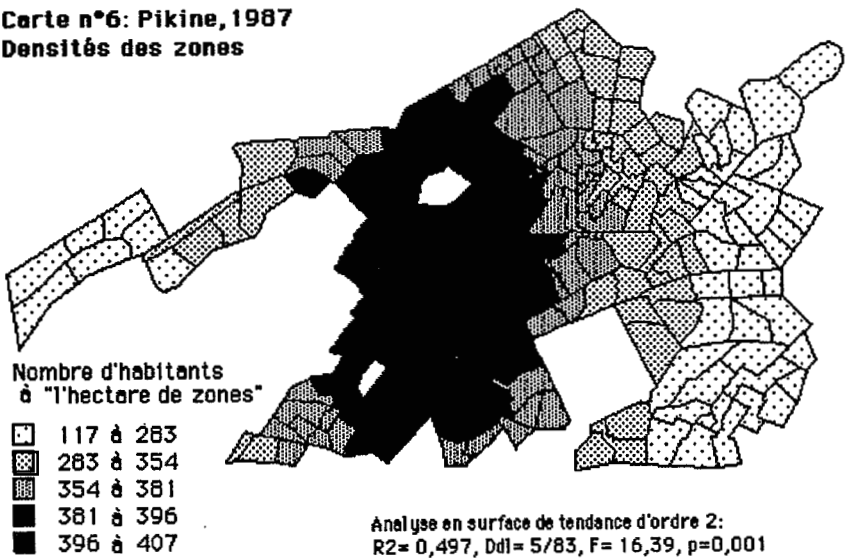


**Carte n°5: Pikine**  
**Zones homogènes**

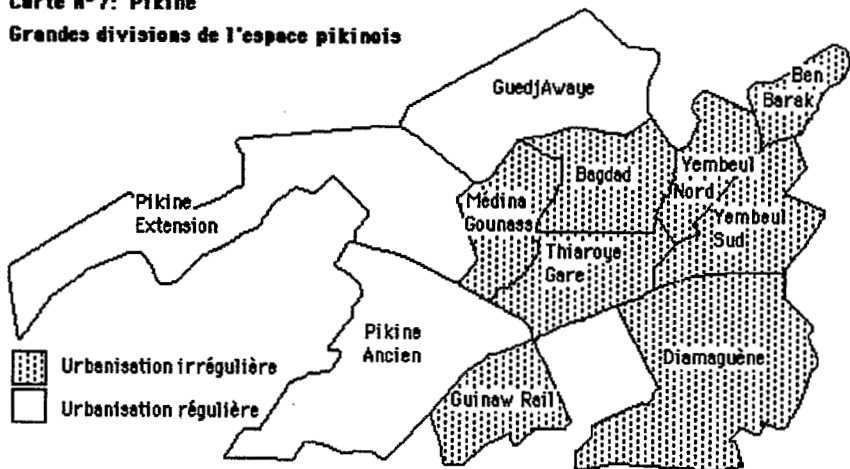


G. Salem ( d'après la mission de photographies  
aériennes de 1980 au 1/20 000 ème)

**Carte n°6: Pikine, 1987**  
**Densités des zones**



**Carte n°7: Pikine**  
**Grandes divisions de l'espace pikinois**



Relevés : G. Salem, P. Ndiaye, N. Puech, N. Stvignon, A. Sow  
 Infographie : G.SALEM, L.ARREGHINI, P.WANIEZ

