



HAL
open science

L'estimation de la densité par la méthode du noyau : méthode et outils. Note méthodologique et technique

Magali Di Salvo, Monique Gadais, Geneviève Roche-Woillez

► **To cite this version:**

Magali Di Salvo, Monique Gadais, Geneviève Roche-Woillez. L'estimation de la densité par la méthode du noyau : méthode et outils. Note méthodologique et technique. [Rapport de recherche] Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU). 2005, 26 p., illustrations, figures, diagrammes, tableaux. <hal-02150564>

HAL Id: hal-02150564

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02150564v1>

Submitted on 7 Jun 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

L'estimation de la densité par la méthode du noyau

MÉTHODE ET OUTILS

Note méthodologique et technique

Certu

centre d'Études sur les réseaux,
les transports, l'urbanisme
et les constructions publiques
9, rue Juliette Récamier
69456 Lyon Cedex 06
téléphone: 04 72 74 58 00
télécopie: 04 72 74 59 00
www.certu.fr

Avis aux lecteurs

La collection Rapports d'étude du Certu se compose de publications proposant des informations inédites, analysant et explorant de nouveaux champs d'investigation. Cependant l'évolution des idées est susceptible de remettre en cause le contenu de ces rapports.

Le Certu publie aussi les collections :

Dossiers: Ouvrages faisant le point sur un sujet précis assez limité, correspondant soit à une technique nouvelle, soit à un problème nouveau non traité dans la littérature courante. Le sujet de l'ouvrage s'adresse plutôt aux professionnels confirmés. Le Certu s'engage sur le contenu mais la nouveauté ou la difficulté des sujets concernés implique un certain droit à l'erreur.

Références: Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné assez vaste, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel courant doit savoir. Le Certu s'engage sur le contenu.

Débats: Publications recueillant des contributions d'experts d'origines diverses, autour d'un thème spécifique. Les contributions présentées n'engagent que leurs auteurs.

Catalogue des publications disponible sur : <http://www.certu.fr>

NOTICE ANALYTIQUE

Organisme commanditaire : Ministère de l'Équipement			
Titre : L'estimation de la densité par la méthode du noyau : méthode et outils			
Sous-titre : Note méthodologique et technique		Date d'achèvement : avril 05	Langue : Français
Organisme auteur : CERTU		Rédacteurs : Magali Di Salvo Monique Gadais Geneviève Roche- Woillez	Relecteur assurance qualité :
Résumé : <p>Ce travail a été mené dans le cadre du programme Acteur pour déterminer s'il existe des phénomènes de densification ou dédensification sur un territoire d'étude. Les indicateurs les plus classiques, basés sur l'étude des densités communales (brutes ou nettes), n'apportent pas de réponse directe et satisfaisante à cette question, les limites administratives créant des ruptures artificielles dans un phénomène dont la réalité est bien souvent plus continue.</p> <p>Pour contourner cet obstacle, il faut donc travailler sur des mailles d'observation plus fines permettant de visualiser les états et les évolutions de façon plus réaliste, en s'affranchissant le plus possible des découpages administratifs préexistants. Le découpage à l'îlot de l'INSEE (disponible pour les communes fortement urbanisées), offre un niveau de finesse en correspondance avec la question posée.</p> <p>La méthode décrite dans cet ouvrage consiste à visualiser sur une carte des zones de densité homogènes et d'évolution de densité homogène. Elle part du principe que, du point de vue de la perception de ses habitants, la densité d'un îlot est indissociable de celle de ses voisins.</p> <p>La méthode est décrite tout d'abord de manière théorique puis appliquée sur les aires urbaines du programme acteur. Enfin un "mode d'emploi" est fourni pour que n'importe quel service puisse appliquer la méthode avec les outils dont il dispose</p>			
Remarques complémentaires :			
Mots clés : lissage, noyau, moyenne, îlot, grille, population, estimation		Diffusion : web	
Nombre de pages : 26		Confidentialité : non	Bibliographie : non

SOMMAIRE

1. Introduction	2
2. Méthode	2
2.1. Intérêt	2
2.2. Application de la méthode à des données de population à l'îlot.....	3
2.2.1. <i>Description de la méthode</i>	3
2.2.2. <i>Choix de la fonction noyau</i>	4
2.2.3. <i>Choix de la taille de la fenêtre de lissage</i>	6
2.2.4. <i>Choix des variables à lisser</i>	7
2.3. Incidence des choix des noyaux et fenêtre de lissage	8
2.3.1. <i>Incidence du choix du noyau</i>	8
2.3.2. <i>Incidence de la taille de la fenêtre de lissage (cas de la fonction gaussienne)</i>	8
3. Outils	9
3.1. Outil par outil.....	9
3.1.1. <i>Préalable</i>	9
3.1.2. <i>Application avec MapInfo v6.5</i>	11
3.1.2.1 Calcul des coefficients de pondération.....	11
3.1.2.2 Calcul de la somme pondérée.....	11
3.1.2.3 Affectation du résultat à la grille	12
3.1.3. <i>Application avec MapInfo V6.5 et Vertical Mapper v 3.0</i>	12
3.1.4. <i>Application avec MapInfo V6.5 et CrimeStat II</i>	13
3.1.4.1 Calculs sous CrimeStat	13
3.1.4.2 Exploitation des résultats dans MapInfo.....	15
3.1.5. <i>Application avec MapInfo V 6.5 et SAS V8</i>	16
3.1.5.1 Import des données dans SAS.....	16
3.1.5.2 Lancement de la procédure KDE	16
3.1.6. <i>Application avec ArcGis V8 :module Spatial Analyst</i>	16
3.2. Comparaison des outils	17
3.2.1. <i>MapInfo et CrimeStat</i>	17
3.2.2. <i>CrimeStat et Vertical Mapper</i>	18
3.2.3. <i>MapInfo et SAS</i>	18
3.2.4. <i>MapInfo et Spatial Analyst</i>	18
3.3. Synthèse comparative sur une commune (Angers).....	19
3.4. Conclusion sur les outils	20
4. Résultats et évaluation de la méthode	21
4.1. Densités de population à l'année N.....	21
4.2. Évolution de la densité	23
5. Conclusion et perspectives	24

1. Introduction

Ce travail a été mené dans le cadre du programme Acteur pour déterminer s'il existe des phénomènes de densification ou dédensification sur un territoire d'étude. Les indicateurs les plus classiques, basés sur l'étude des densités communales (brutes ou nettes), n'apportent pas de réponse directe et satisfaisante à cette question, les limites administratives créant des ruptures artificielles dans un phénomène dont la réalité est bien souvent plus continue.

Pour contourner cet obstacle, il faut donc travailler sur des mailles d'observation plus fines permettant de visualiser les états et les évolutions de façon plus réaliste, en s'affranchissant le plus possible des découpages administratifs préexistants. Le découpage à l'îlot de l'INSEE (disponible pour les communes fortement urbanisées), offre un niveau de finesse en correspondance avec la question posée. Le découpage à l'IRIS, utilisable également, est plus grossier, l'îlot est donc notre maille d'observation. L'idéal serait bien sûr de disposer de la donnée localisée le plus finement possible...

La méthode proposée consiste à visualiser sur une carte des zones de densité homogènes.

Elle part du principe que, du point de vue de la perception de ses habitants, la densité d'un îlot est indissociable de celle de ses voisins. Une vaste zone ne comportant qu'une tour très isolée, par exemple, ne sera pas perçue comme aussi dense que la même zone, entourés d'îlots occupés par des ensembles d'immeubles plus bas.

2. Méthode

2.1. Intérêt

Les cartes traditionnelles selon un découpage administratif sont souvent difficiles à analyser pour plusieurs raisons. Si l'on travaille, par exemple, sur un découpage à l'îlot :

- Elles mettent en évidence des épiphénomènes, en faisant apparaître des îlots isolés qui peuvent ne pas constituer une zone *importante* de densité de par leur surface.
- Elles sont tributaires du découpage en îlots qui crée des ruptures artificielles des phénomènes.

Pour pallier à ces inconvénients, il est possible d'effectuer *un lissage* des données ("nettoyage" de la mosaïque), en calculant **la densité par la méthode du noyau (KDE = Kernel Density Estimation)** sur une **grille**.

Ainsi, une zone entourée de zones de forte densité, verra sa densité renforcée par ce calcul (remplissage des vides). A l'inverse, une zone isolée à forte densité ne sera maintenue que si cette densité est beaucoup plus importante que celle de ses voisins (élimination des épiphénomènes).

Le calcul permet ainsi de faire apparaître *des continuités de tendance* dans l'espace.

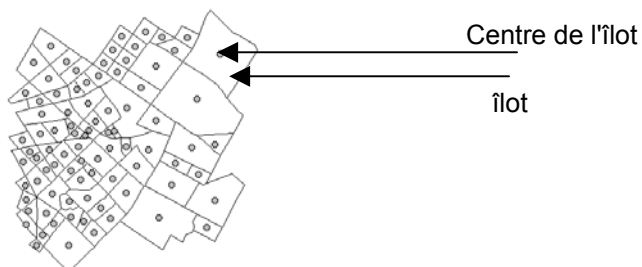
Ce mode de calcul est évidemment faussé aux bords de la zone d'étude. En limite du périmètre d'étude, les valeurs lissées sont faussées par l'absence de données à l'extérieur du périmètre : les données sont "moins lissées", la densité est artificiellement augmentée. Il conviendra donc de signaler ce phénomène, ou de réduire le périmètre visualisé lors de la cartographie pour exclure ces zones de l'affichage.

NB : Pour pouvoir appliquer la méthode en toute rigueur, il faudrait disposer de la localisation de chaque individu.

2.2. Application de la méthode à des données de population à l'îlot

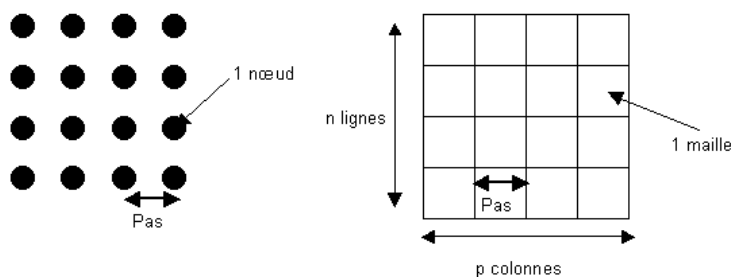
2.2.1. Description de la méthode

Un territoire peut être découpé en îlots..



Remarque : Les îlots sont des objets vectoriels contigus de type **polygones** portant une **population**. Ils peuvent aussi être modélisés par un **point** placé au **centre** (appelé aussi **barycentre** ou **centroïde**) du polygone.

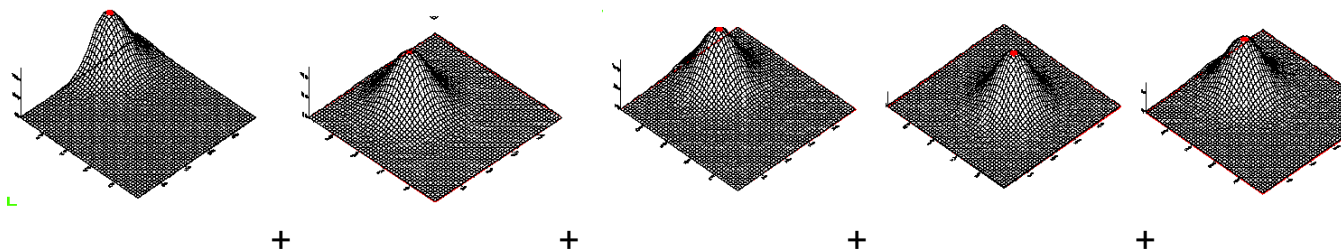
Une grille à maille régulière est alors appliquée au territoire d'étude. Une **grille** est une **matrice** ou tableau de **n lignes** et **p colonnes**. Afin de la modéliser dans un SIG de type vectoriel comme MapInfo, une grille peut être représentée par des rectangles appelés **mailles** ou des points appelés **nœuds**. Chaque maille ou nœud porte une **valeur**. Le **pas** de la grille est la distance entre deux nœuds ou bien la largeur de la maille.

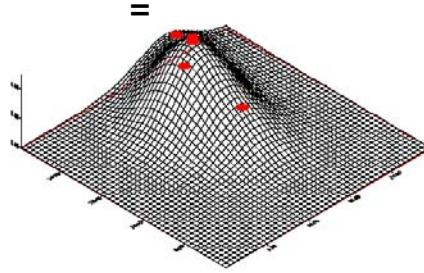


Remarque : Avec des SIG raster comme Vertical Mapper ou Spatial Analyst les grilles sont modélisées par des objets appelés **grid**, correspondant grosso modo aux grilles vectorielles de type rectangle. Chaque rectangle est appelé un **pixel** et porte une **valeur**.

En pratique la variable population de chaque îlot (considérée comme portée par le centre de l'îlot) est répartie, après lissage, dans chaque maille de la grille du territoire observé par l'application d'une fonction de répartition de type "méthode du noyau". La valeur lissée sur une maille correspond à la somme des contributions, pondérées par la distance, reçues de chaque îlot.

Cela consiste à placer une fonction symétrique sur chaque centre d'îlot puis à faire la somme de toutes ces fonctions en chaque nœud.

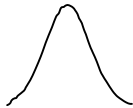




Par symétrique on entend que la fonction décroît lorsqu'on s'éloigne du point et ceci de la même façon dans toutes les directions. Dans cet exemple c'est une fonction normale (gaussienne) mais on peut utiliser d'autres types de fonctions symétriques...

Ainsi chaque point contribue **de manière égale** à la mesure de la distribution et de fait la fonction **est continue en chaque point**. Mais la largeur de la fonction noyau peut varier. En conséquence le lissage de la distribution finale est induit par la largeur de la fonction noyau (taille de la fenêtre de lissage).

Fenêtre de lissage étroite



Fenêtre de lissage large



Il faut noter que après lissage, la population initiale a été répartie différemment sur le territoire étudiée. Un coefficient de normalisation doit donc être employé pour le lissage afin de **conserver la population totale** : la somme de la population des îlots doit être égale à la somme de la population portée par les mailles.

2.2.2. Choix de la fonction noyau

On peut choisir diverses fonctions noyau pour réaliser le lissage. Cela produit des différences subtiles dans la forme de la surface lissée. Ceci est dû au fait que l'on accorde une place plus ou moins importante au critère de distance. En voici quelques exemples.

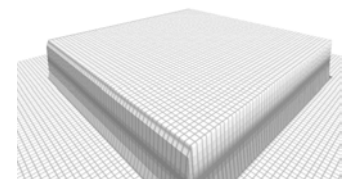
Les quatre premières fonctions prennent en compte les points à l'intérieur d'un cercle de rayon R appelé rayon de lissage.

1. La distribution uniforme

$$P_j = \sum_{i=1}^{i=n} K \times P_i$$

P est la variable à lisser

K est une constante

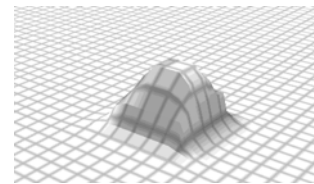


Elle pondère chaque point dans un cercle de rayon R de manière égale. C'est une moyenne mobile non pondérée par la distance.

2. La fonction quartique

$$P_j = \sum_{i=1}^{i=n} P_i \times \frac{3}{r^2 \times \Pi} \times \left[1 - \left(\frac{d_{ij}^2}{r^2} \right) \right]^2$$

r est le rayon de lissage
 P la variable à lisser
 Dij la distance euclidienne entre i et j.

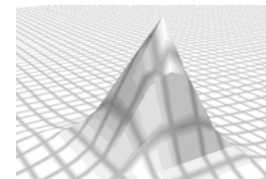


Elle donne un poids plus grand aux points proches qu'aux points éloignés, mais la décroissance est graduelle.

3. La fonction triangulaire

$$P_j = \sum_{i=1}^{i=n} \left[K - \frac{K}{r} \right] \times P_i \times d_{ij}$$

K est une constante
 R est le rayon de lissage
 P est la variable à lisser
 Dij est la distance euclidienne entre i et j

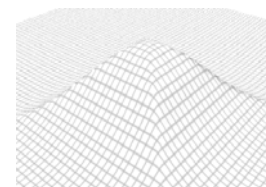


Elle donne un poids plus grand aux points proches qu'aux points éloignés, mais la décroissance est plus rapide que pour la quartique.

4. La fonction exponentielle

$$P_j = \sum_{i=1}^{i=n} P_i \times A \times e^{-K \times d_{ij}}$$

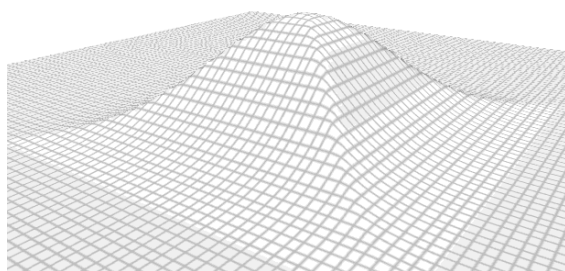
K et A sont des constantes
 P est la variable à lisser
 Dij est la distance euclidienne entre i et j



Elle donne un poids encore plus grand aux points proches qu'aux points éloignés.

5. La fonction normale (gaussienne)

La fonction la plus souvent utilisée est la fonction gaussienne qui prend en compte tous les points de l'aire d'étude.



Fonction gaussienne

Les îlots proches de la maille ont un poids plus fort que les îlots éloignés du fait de l'utilisation de la fonction exponentielle. Cette fonction s'étend à l'infini dans chaque direction et donc s'applique sur toute la surface et pas seulement dans un cercle circonscrit à chaque maille.

Plusieurs formules assez proches sont inventoriées dans la littérature et dans les guides des logiciels pour le calcul de la fonction noyau.

Si on pose :

- λ est la taille de la fenêtre de lissage en unité de carte (mètre, kilomètre...)
- d_{ij} est la distance entre l'îlot i et la maille j en unité de carte (mètre, kilomètre...)
- n_{ilote} est le nombre total d'îlots
- $K(x)$ est la fonction noyau

Cours de statistique de l'université de Toulouse : www.lsp.ups-tlse.fr/Besse	$Densité_estimée(mailles_j) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{ilote}}} Population(ilote_i) \times k\left(\frac{d_{ij}}{\lambda}\right)}{n_{\text{ilote}} \times \lambda}$	$k(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2 \times \Pi}}$
CrimeStat	$Densité_estimée(mailles_j) = \sum_{i=1}^{n_{\text{ilote}}} Population(ilote_i) \times k\left(\frac{d_{ij}}{\lambda}\right)$	$k(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{2 \times \Pi \times \lambda^2}$
SAS	$Densité_estimée(mailles_j) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{ilote}}} Population(ilote_i) \times k\left(\frac{d_{ij}}{\lambda}\right)}{\sum_{i=1}^{n_{\text{ilote}}} Population(ilote_i)}$	$k(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2 \times \Pi} \times \lambda}$
Spatial Analyst d'ArcGis	$Densité_estimée(mailles_j) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{ilote}}} Population(ilote_i) \times k\left(\frac{d_{ij}}{\lambda}\right)}{\lambda^2}$	non communiqué
Vertical Mapper	Non communiqué.	Non communiqué.

Dans tous les cas on somme les populations pondérées par les fonctions noyau. Cette fonction est variable mais comporte toujours une fonction "exponentielle". λ intervient ou pas en dénominateur. Le résultat est parfois divisé par un coefficient (somme des populations, nombre d'îlot par λ , etc.).

2.2.3. Choix de la taille de la fenêtre de lissage

NB : fonction normale seulement. Pour les autres il s'agit d'un rayon de lissage.

Il y a plusieurs manières de choisir la taille de la fenêtre de lissage (valeur de λ). Certains prétendent qu'elle doit être fixe et d'autre préfèrent la faire varier à l'intérieur de la surface. Elle peut également être variable selon l'axe des X et des Y.

Typiquement, un λ petit produit une estimation fine avec toutes les bosses et creux car seuls les îlots les plus proches influent sur le calcul. Un λ plus grand lisse la fonction et montre moins les différences entre zones car plus d'îlots sont pris en compte.

La taille de la fenêtre de lissage va dépendre du nombre d'îlots et de leur surface.

Il faut garder en tête la précision statistique, si la taille de l'échantillon n'est pas très grande, un petit intervalle sera imprécis, les variations seront aléatoires. D'un autre côté si l'échantillon est important on peut faire une estimation plus fine. En général il vaut mieux tester différentes tailles.

La taille de la fenêtre de lissage va dépendre de la **taille** et de la **répartition spatiale** de l'échantillon.

B.W. Silverman propose le calcul suivant d'une fenêtre de lissage λ en fonction de la distribution D des distances de tous les points de l'échantillon les uns par rapport aux autres¹

$$\lambda = 1.06 \times \min\{eqtyp(D), Q(D)/1.34\} \times N^{-1/5}$$

avec

- eqtyp(D) est l'écart type de D
- Q(D) est l'intervalle interquartile de D
- N la taille de l'échantillon

Bowman et Foster proposent de calculer un λ variable selon l'axe des X et de Y :

$$\lambda_x = eqtyp(x) \times N^{-1/6} \qquad \lambda_y = eqtyp(y) \times N^{-1/6}$$

Et enfin Abramson propose de calculer un variable appelé λ_i qui est un facteur multiplicatif de λ :

Après avoir fait une première estimation de densité et obtenu l'estimation de la distribution f :

$$\lambda_i = \lambda(x_i) = \sqrt{\frac{G}{f(x_i)}}$$

G est la moyenne géométrique de tous les $f(x)$ (racine nième du produit de tous les nombres)

Le choix de la fenêtre de lissage est délicat...Une méthode empirique consiste à tester diverses fenêtres de lissage et à examiner le résultat...

2.2.4. Choix des variables à lisser

On distingue 2 types de variables : les variables brutes (dénombrement) et les relatives (ratios, moyennes).

Pour les dénombrements, le lissage consiste à compter les individus. Par contre pour lisser un ratio, comme un taux d'évolution, faire un lissage des taux n'est pas adapté. Une méthode spécifique s'impose, car ces variables sont sans dimension. Une solution est de lisser séparément numérateur et dénominateur puis de calculer le ratio

La fonction noyau étant linéaire, toutes les variables brutes et toutes les combinaisons linéaires de variables brutes peuvent être lissées (solde, évolution...). Le résultat est une densité.

Pour pouvoir appliquer la méthode en toute rigueur, il faudrait disposer de la localisation précise (X,Y) de chaque dénombrement. Or dans le cas des îlots les données disponibles sont déjà regroupées : c'est comme si des classes préalables avaient été faites.

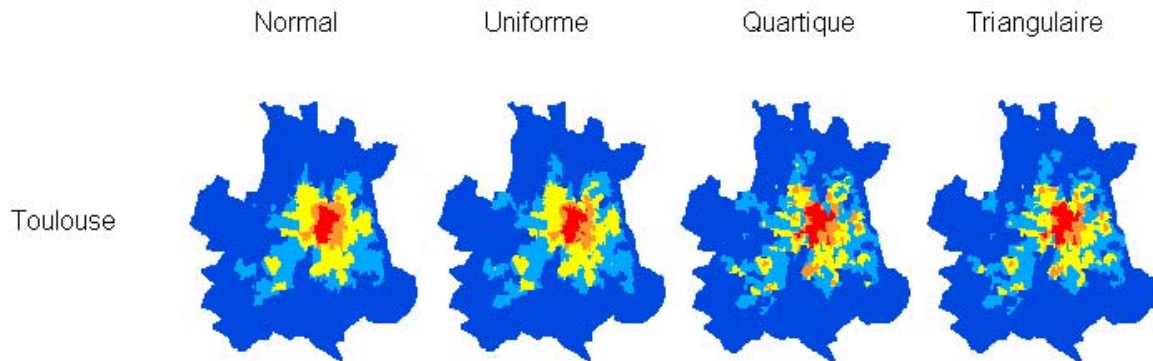
Pour la mise en oeuvre, le lissage est appliqué à la variable **population** portée par le centre de l'îlot en utilisant un λ supérieur au rayon moyen d'un îlot. La forme de l'îlot et donc sa surface n'est pas prise en compte directement.

¹ B.W. Silverman – Density Estimation for Statistics and Data Analysis – Chapman and Hall, London New-York, 1986

2.3. Incidence des choix des noyaux et fenêtre de lissage

Pour la mise en oeuvre se référer au chapitre 4 : outils.

2.3.1. Incidence du choix du noyau



Utiliser l'une ou l'autre fonction dépend du poids que l'on veut donner aux îlots proches et aux îlots éloignés.

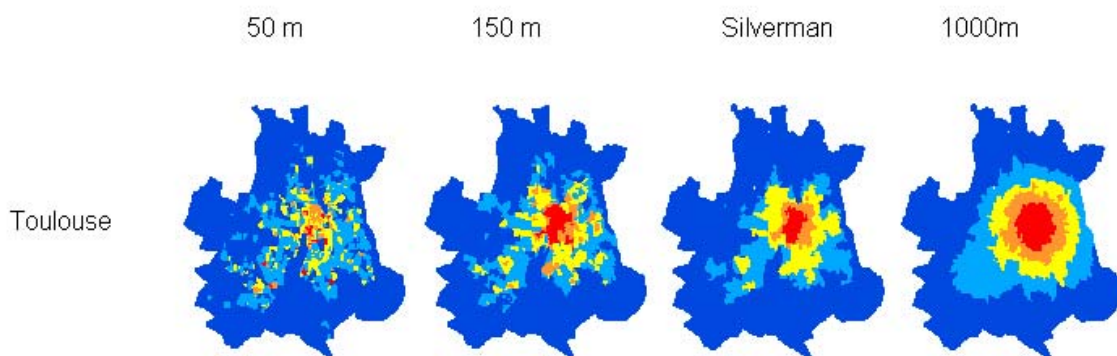
Utiliser une fonction normale qui va produire une grosse différence dans la pondération des îlots proches par rapport aux îlots éloignés va tendre à produire une variation plus fine à l'intérieur de la surface que d'autres fonctions comme la quartique. Ces derniers ont tendance à lisser encore plus la distribution et tiennent beaucoup plus compte de la proximité des îlots...

Les fonctions quartiques et exponentielles sont plus continues que les fonctions uniformes ou triangulaires.

En fait, il est prouvé que tant que la fonction noyau est symétrique les différences sont infimes.

Dans le cas de la fonction gaussienne, c'est plus le choix de la fenêtre de lissage qui va jouer. Pour les autres fonction, c'est le choix du rayon de lissage.

2.3.2. Incidence de la taille de la fenêtre de lissage (cas de la fonction gaussienne)



Les cartes montrent la grande influence de la fenêtre de lissage.

Au-dessous de 100m, le lissage est non significatif (trop morcelé) et après 1000 m les données sont trop lissées (perte d'information importante).

Une taille étroite va faire une estimation fine avec toutes les bosses et creux. Une taille plus large lissera la distribution et montrera moins les différences entre zones.

3. Outils

La méthode a été appliquée et comparée avec les outils suivants :

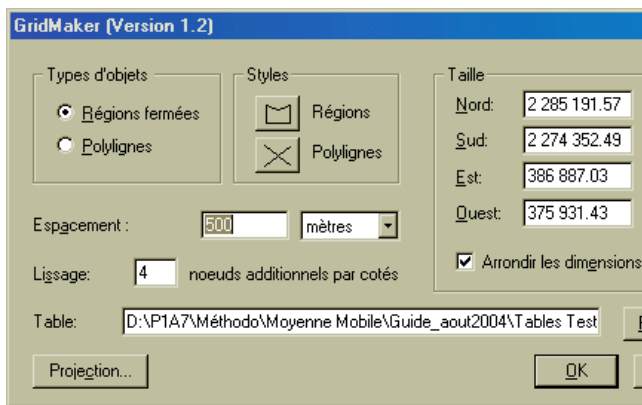

Système d'Information Géographique Vectoriel	MapInfo	SIG courant recommandé par le Ministère de l'Équipement
Système d'Information Géographique Raster	Vertical Mapper	outils raster de MapInfo
	Spatial Analyst	outils raster de ArcGis (Esri)
Système de traitement statistique	CrimeStat	<p>Outil statistique du ministère de la justice américain.</p> <p><i>"A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations. Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington, DC. May 2002"</i></p> <p>téléchargeable gratuitement sur le site http://www.icpsr.umich.edu/NACJD/crimestat.html</p>
	SAS	Logiciel statistique parfois utilisé au Ministère de l'Équipement (traitement de Filocom) et couramment à l'INSEE

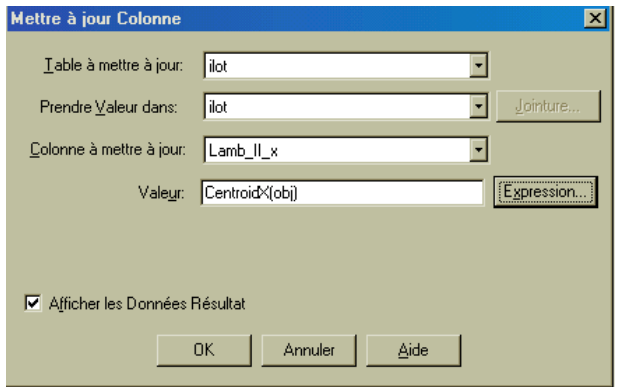
3.1. Outil par outil

3.1.1. Préalable

Avec la plupart des outils, il faut au préalable créer une grille dans MapInfo qui portera le résultat du lissage. Il est utile aussi d'ajouter aux données "îlot" et aux données "grilles" des colonnes portant les coordonnées (X,Y) des centres de ces objets afin de permettre les calculs dans les logiciels non géographiques (SAS, CrimeStat).

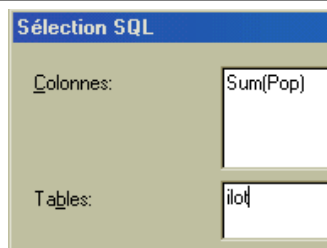
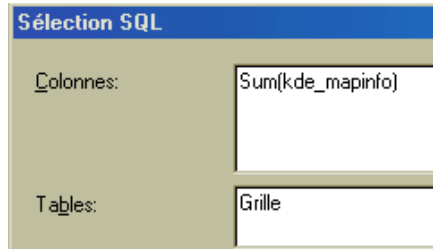

Un code permettant d'identifier de manière unique chaque objet géographique doit aussi être créé afin de permettre les jointures de données.

Action	Menu	Illustration
<p>Créer une grille régulière sur la table des îlots de pas qui peut être égal à un demi-rayon moyen d'îlot.</p> <p>Utiliser pour cela l'outil de création de grille GridMaker.mbx fourni en standard dans la boîte à outil de MapInfo</p> <p><i>Nb : plus le pas de la grille sera petit, plus long seront les calculs !</i></p>	<p>Outil=>exécuter</p> <p>Ou</p> <p>Outil=>gestionnaire d'outils : Création d'une grille</p>	
<p>Ajouter à la table grille une colonne identifiant "id_grille" que l'on remplit avec Rowid (numéro d'ordre dans la table, de type entier) afin d'identifier de manière unique chaque maille.</p>	<p>Table=>mettre à jour colonne</p>	
<p>Ajouter à la table "îlot" et à la table "grille" 2 colonnes X et Y indiquant les coordonnées des centres dans</p>	<p>table=>gestion table>modifier structure</p>	

<p>le système de projection adapté.</p>	<p>NB : il faut spécifier le système de projection au préalable sinon MapInfo effectuera les calculs en latitude/longitude</p> <p>On peut pour cela taper la commande suivante dans la fenêtre mapbasic pour du lambert2 carto :</p> <p>Set Map CoordSys Earth Projection 3, 1002, "m", 0, 46.8, 45.898918964419, 47.696014502038, 600000, 2200000</p> <p>table=>mettre à jour colonne</p> <p>Les fonctions à utiliser sont CentroidX() et CentroidY()</p>	
---	---	--

Après le lissage, **quel que soit l'outil employée**, un coefficient de normalisation $\frac{\sum_{i=1}^{n \text{ ilot}} \text{Population}(\text{ilot}_i)}{\sum_{j=1}^{n \text{ maille}} \text{Densité}(\text{maille}_j)}$

sera appliqué à chaque maille afin d'assurer la comparabilité des outils. **Ainsi la population totale est conservée.**

Action	Menu	Illustration
<p>Calculer la population totale initiale</p>	<p>Sélection=>selection SQL Select Sum(pop) from lot</p>	
<p>Faire la somme des calculs effectués par lissage</p>	<p>Sélection=>selection SQL Select Sum(COL2) from resultat</p>	
<p>Calculer le coefficient de normalisation</p>	<p>Calculatrice</p> $\frac{\text{Population_totale}}{\text{Somme_des_densités}}$	
<p>Dans la table résultat, multiplier le résultat obtenu par ce coefficient.</p>	<p>Table=>mettre à jour colonne</p>	

3.1.2. Application avec MapInfo v6.5

MapInfo seul peut être employé pour réaliser le lissage, en combinant plusieurs requêtes SQL complexes.

NB : pour cet exemple, c'est la formule de CrimeStat qui a été employée pour le calcul de la fonction noyau.

Après avoir créé la grille (cf. 3.1.1) Ajouter à la table "îlot" et à la table "grille" une colonne quelconque appelée "jointure" de type entier initialisée à 0. Cette colonne permet de faire le lien entre toutes les mailles de la grille et tous les îlots dans la clause "where" de la requête SQL (le critère de sélection)

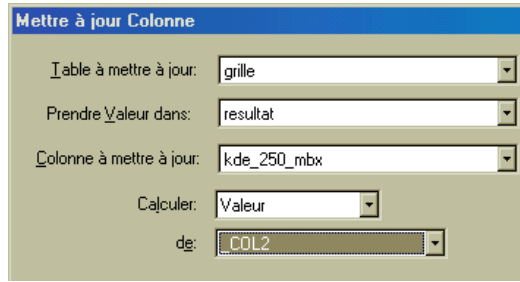
3.1.2.1 Calcul des coefficients de pondération

Action	Menu	Illustration
<p>Lancer une requête SQL qui :</p> <ol style="list-style-type: none"> Fait la jointure entre tous les îlots et tous les éléments de la grille, le calcul devant s'effectuer, pour chaque maille, sur tous les îlots ("<i>critère</i>") Donne en sortie les colonnes suivantes ("<i>colonnes</i>") : <ul style="list-style-type: none"> L'identifiant de la maille de la grille Le résultat de la fonction noyau pour cette maille et cet îlot : $\frac{-\left(\frac{d_{ij}}{\lambda}\right)^2}{e^2}$ <ul style="list-style-type: none"> La population de l'îlot <p>Nommer la table résultante liste distance par exemple ("<i>Résultat dans table</i>")</p> <p>On obtient un tableau de (nombre_îlot * nombre de maille) éléments où pour chaque maille identifiée par son code "id_grille" est calculée la fonction noyau et la population</p>	<p>Sélection=>selection SQL</p> <p>Select grille . id_grille , exp (- (distance (CentroidX (grille . obj) , CentroidY (grille . obj) , CentroidX (îlot . obj) , CentroidY (îlot . obj) , "m")) ^ 2 / (2 * 250 ^ 2)) / ((2 * 3.14) * 250 * 250) , îlot . pop from grille, îlot where grille . jointure = îlot . jointure into liste_distance</p> <p>Dans cet exemple λ= 250 m</p>	 <p>Exemple de résultat</p>

3.1.2.2 Calcul de la somme pondérée

Action	Menu	Illustration
<p>Faire la somme pondérée par la fonction noyau des populations pour chaque maille.</p> <p>Sauvegarder le résultat sous forme d'une table que l'on peut appeler "résultat"</p>	<p>Sélection=>selection SQL</p> <p>Select id_grille , sum (pop90 * COL2) from liste_distance group by id_grille into resul</p>	

3.1.2.3 Affectation du résultat à la grille

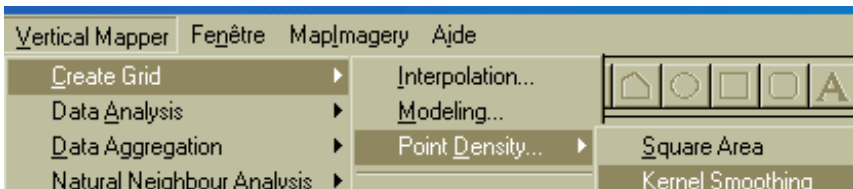
Action	Menu	Illustration
Faire une jointure pour affecter le résultat à la grille via l'identifiant "id_grille"	Table=>mettre à jour colonne	

Et enfin réaliser la normalisation (cf. 3.1.1.)

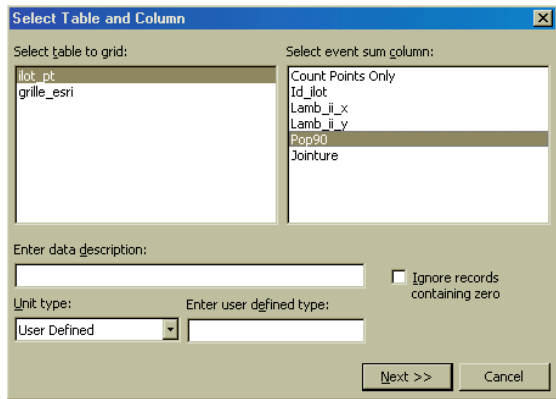
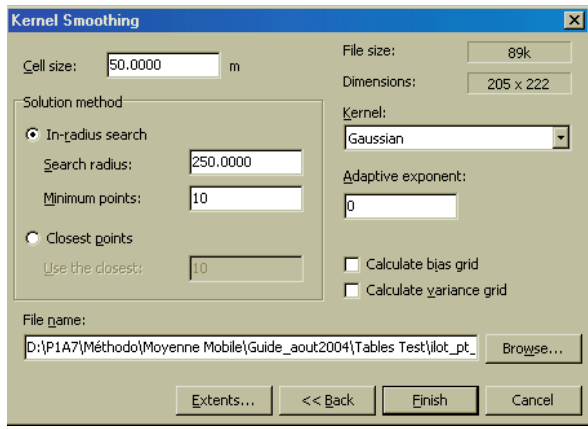
NB : plus le nombre îlots et le pas de la grille sont importants, plus les calculs seront longs...

3.1.3. Application avec MapInfo V6.5 et Vertical Mapper v 3.0

Vertical Mapper v3.0, menu additif de MapInfo pour les traitements raster, permet une estimation du noyau de densité via la fonction **kernel smoothing**



Il n'est pas nécessaire de créer de table grille pour cette outil, un grid étant produit en sortie. Toutefois, il faut en entrée une table de type ponctuelle. Il faut donc au préalable créer une table de points à partir des coordonnées des centres îlots via un "créer point".

Méthode	Illustration
<p>sélectionner la table îlots ponctuelle ainsi que la variable dont on estimera la densité.</p>	
<p>Choisir le pas de la grille dans "Cell size" et un noyau gaussien (kernel). Mettre adaptative exponent à 0.</p> <p>Choisir ensuite dans "Solution Method" :</p> <ul style="list-style-type: none"> - soit "In-radius Search" : permet de définir le rayon de recherche (taille de la fenêtre de lissage ?) et le nombre de points minimum dans ce rayon de recherche. Si le nombre de points dans le rayon est inférieur à la valeur minimum, la valeur nulle est retournée pour la grille. <p><i>Bizarrement, si on choisit cette solution, les résultats obtenus sont complètement différents du calcul avec MapInfo. L'algorithme utilisé semble être le même mais le calcul reste une boîte noire.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - soit "closest points" : permet de définir le nombre de points voisins à inclure dans le calcul. La taille de la fenêtre de lissage sera variable de manière à toujours prendre en compte le même nombre de points. Cette méthode est aussi possible dans CrimeStat (voir chapitre suivant) et elle produit un résultat sensiblement similaire. Plus le nombre de points voisins sera grand, plus fort 	

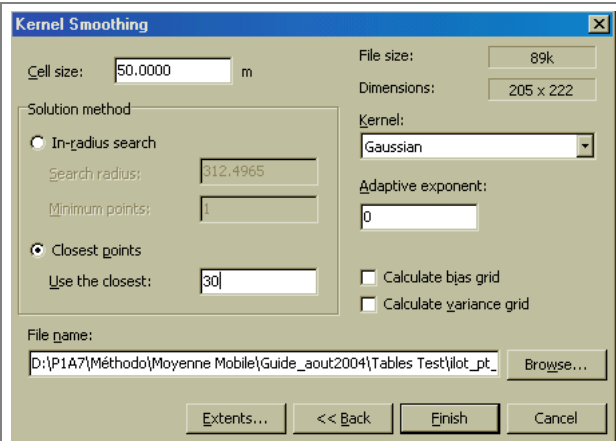
similaire. Plus le nombre de points voisins sera grand, plus fort sera le lissage.

L'aide de Vertical Mapper ne fournit pas suffisamment d'information précise sur la formule employée, les résultats totalement différents avec les 2 méthodes ne sont pas expliqués.

Le Pôle Régional de Diffusion (PRD) du CETE Normandie-Centre, responsable de la diffusion de Vertical Mapper au Ministère de l'Équipement, a remonté le problème auprès de Claritas.

Nb : la conservation des masses n'est pas assurée.

NB : Choisir la méthode "closest point". Le nombre de point à entrer est fonction du nombre total îlot Plus il y a îlot, plus le nombre de points voisins à entrer est important.



3.1.4. Application avec MapInfo V6.5 et CrimeStat² II

Il faut au préalable créer la grille sous MapInfo (cf. 3.1.1), ajouter les colonnes X et Y pour les îlots et la grille et enfin exporter ces deux tables au format DBF via le menu "table=>exporter table". Lancer ensuite CrimeStat.

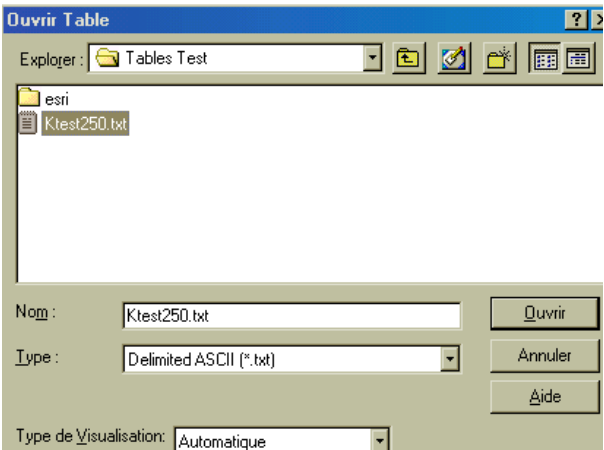
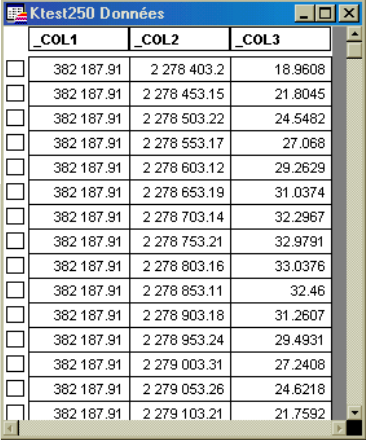
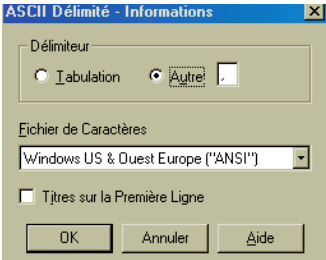
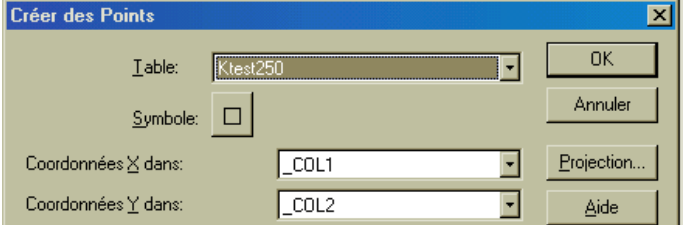

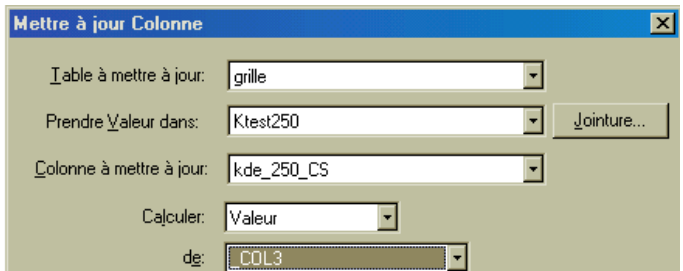
3.1.4.1 Calculs sous CrimeStat

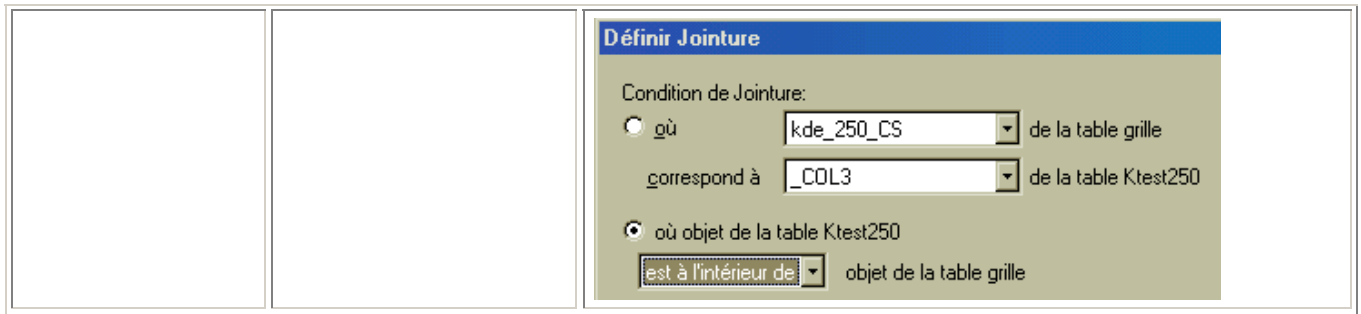
Action	Onglets	Illustration
<p>Entrer les paramètres à prendre en compte pour la table des îlots:</p> <ul style="list-style-type: none"> Le nom de la table Les noms des coordonnées X et Y Le nom de la variable à lisser Les type de projection 	<p>Data Setup Primary file</p>	

² CrimeStat II : A Spatial Statistics Program for the Analysis of CrimeIncident Locations. Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington, DC. May 2002 téléchargeable gratuitement sur le site <http://www.icpsr.umich.edu/NACJD/crimestat.html>

<p>Entrer les paramètres à prendre en compte pour la grille</p>	<p>Data setup Reference file Cocher "external file" et entrer les paramètres en cliquant sur "select file"</p>	
<p>Entrer les paramètres de lissage</p> <p>Choisir "Kernel Density Estimate" de type single (une variable à estimer)</p> <p>Choisir la méthode "normal" et un λ "fixed interval" (taille de la fenêtre de lissage).</p> <p><i>NB : Crimestat propose aussi de choisir un lambda variable ("adaptive") avec un nombre de voisins fixe, comme vertical mapper.</i></p> <p>Choisir les unités et ne pas oublier de cocher "use intensity variable" sinon CrimeStat fera un simple calcul géographique. Calculer les densités absolues "absolute density" et donner un nom au fichier de sortie en cliquant sur "Save result to".</p> <p>Choisir le format "Surfer DAT" qui est un fichier texte avec séparateur "virgule".</p> <p>Cliquer sur "compute" pour lancer le calcul</p>	<p>Spatial Modelling Interpolation</p>	
<p>Dans l'explorateur windows, renommer le fichier .dat obtenu en .txt</p>		

3.1.4.2 Exploitation des résultats dans MapInfo

Action	Menu	Illustration
<p>Ouvrir le fichier texte résultat du lissage dans mapinfo</p> <p>On obtient un fichier à 3 colonnes. Deux colonnes COL1 et COL2 indiquent les coordonnées des centres des mailles de la grille et une colonne COL3 indique le résultat du lissage</p>	<p>Fichier=>ouvrir table</p> <p>Type texte</p> <p>Préciser à l'ouverture que le séparateur est une virgule</p>	  
<p>Créer des points à partir du fichier texte pour pouvoir faire la jointure sur la grille</p> <p>Ne pas oublier de spécifier le système de projection adéquat</p>	<p>Table=>créer point</p>	 
<p>Faire la jointure de la table issue de CrimeStat sur la grille</p> <p>La condition de jointure est que les objets de la table CrimeStat soient à l'intérieur des objets de la grille</p>	<p>Table=>mettre à jour colonne</p>	



3.1.5. Application avec MapInfo V 6.5 et SAS V8

La V8 du logiciel de traitement statistique SAS possède une procédure KDE. Cette procédure a l'avantage d'être très rapide.

Il faut au préalable exporter la table des îlots en format DBF après y avoir ajouté 2 colonnes X et Y. Il n'est pas nécessaire de créer de grille, celle-ci sera réalisée par SAS.

3.1.5.1 Import des données dans SAS

Via un "fichier import" importer la table DBF des îlots dans une table SAS nommée "Ilot". Cette table doit comporter au moins 3 champs : x, y et population.

3.1.5.2 Lancement de la procédure KDE

Dans la fenêtre de commande taper les lignes suivantes et exécuter le programme :

```
proc kde data=Ilot ngrid=ncol,nlig out=result_grille;
var x y;
weight pop;
run;
```

On ne peut pas entrer le pas de la grille produite en sortie, c'est le nombre de lignes et de colonnes que l'on entre.

SAS calcule automatiquement le λ optimal selon l'axe des x et des y (formule de Silvermann). Le λ optimal est indiqué dans la fenêtre résultat (ligne "bandwidth"). Il est possible d'affecter un coefficient multiplicateur à ces λ pour en choisir un en particulier.

Dans notre exemple, λ optimal est égal à 115. Si on veut forcer un lissage avec un λ égal à 250, il faut donc un coefficient multiplicateur de 2.212. Il faut remplacer la première ligne de commande par :

```
proc kde bwm=2.212 2.212 data=Ilot ngrid=ncol,nlig out=result_grille;
```

Le résultat, qui comporte 3 colonnes (x, y et densité) peut être exporté au format Excel afin d'être intégré et exploité dans MapInfo. Ce résultat est une grille sous forme de points (nœuds) et non pas de maille (rectangles). On peut ensuite réaliser la normalisation dans MapInfo.

3.1.6. Application avec ArcGIS V8 :module Spatial Analyst

Le module Spatial Analyst de la V8 d'ArcGIS possède une fonction d'estimation du noyau de densité.

Après avoir exporté les îlots de MapInfo vers le format Shape d'ESRI via le traducteur universel, les ouvrir dans le module ArcMap d'ArcGIS par un "ajouter couche".

NB : comme avec Vertical Mapper, les objets doivent être de type ponctuels.

La fonction Densité permet de créer une surface de densité continue à partir d'un ensemble d'entités en entrée :

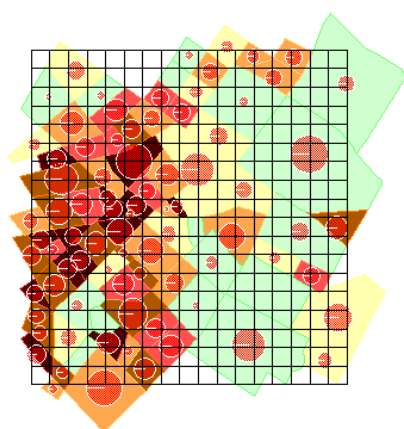
- Cliquez sur la flèche de liste déroulante de Spatial Analyst puis sur Densité.
- Cliquez sur la flèche de liste déroulante "Données d'entrée" puis sur la couche d'entrée.
- Cliquez sur la flèche de liste déroulante "Champ de population" puis sur le champ à utiliser.
- Cliquez sur le type "Noyau"

- Saisissez une valeur dans la zone de texte "Rechercher le rayon" pour définir la distance dans laquelle rechercher les points ou les lignes de toutes les cellules du raster de sortie (taille de la fenêtre de lissage)
- Cliquez sur la flèche de liste déroulante "Unités de surface" et sélectionnez les unités dans lesquelles les valeurs de densité doivent être exprimées.
- Saisissez une taille de cellule en sortie.
- Saisissez un nom pour le résultat qui sera au format raster d'ArcGis.
- Cliquez sur OK.

L'import dans MapInfo est possible en faisant "raster vers entité" puis en traduisant ces entités "shp" en format MapInfo via le traducteur universel. On peut choisir des entités de type "point" ou de type "rectangle".

Normaliser ensuite le résultat.

3.2. Comparaison des outils



Pour tous les tests, la même table a été employée.

Le pas de la grille est de 50m et λ a été fixé à 250m.

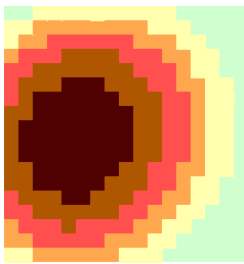
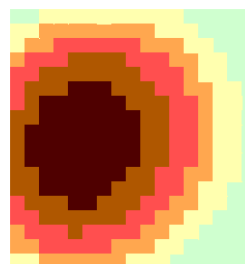
Les résultats ont été normalisés.

Le dégradé de couleur représente la densité d'un îlot et le symbole proportionnel la population

La référence est le calcul réalisé sous MapInfo car il laisse la possibilité de choisir l'algorithme précisément (formule, normalisation...).

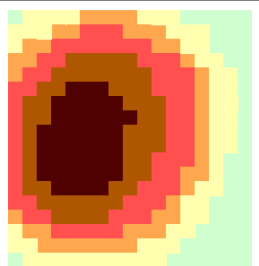
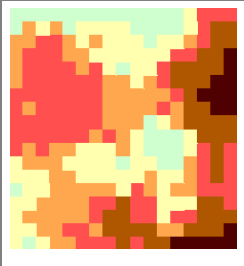
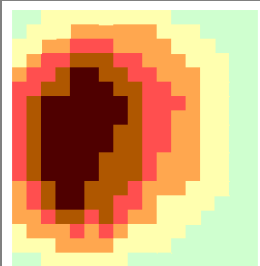
3.2.1. MapInfo et CrimeStat

Les valeurs portées par les mailles sont identiques que l'on fasse le calcul avec MapInfo ou avec CrimeStat.

Requête mapinfo	CrimeStat	Exemple de données																																								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Query1 Données</th> </tr> <tr> <th>id_grille</th> <th>kde250_sql</th> <th>kde250_crimestat</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>13.5955</td><td>13.5918</td><td>■</td></tr> <tr><td>2</td><td>15.4366</td><td>15.4395</td><td>■</td></tr> <tr><td>3</td><td>17.0523</td><td>17.0609</td><td>■</td></tr> <tr><td>4</td><td>18.3582</td><td>18.3709</td><td>■</td></tr> <tr><td>5</td><td>19.2926</td><td>19.3073</td><td>■</td></tr> <tr><td>6</td><td>19.8187</td><td>19.8334</td><td>■</td></tr> <tr><td>7</td><td>19.9386</td><td>19.9515</td><td>■</td></tr> <tr><td>8</td><td>19.6793</td><td>19.689</td><td>■</td></tr> </tbody> </table>	Query1 Données				id_grille	kde250_sql	kde250_crimestat		1	13.5955	13.5918	■	2	15.4366	15.4395	■	3	17.0523	17.0609	■	4	18.3582	18.3709	■	5	19.2926	19.3073	■	6	19.8187	19.8334	■	7	19.9386	19.9515	■	8	19.6793	19.689	■
Query1 Données																																										
id_grille	kde250_sql	kde250_crimestat																																								
1	13.5955	13.5918	■																																							
2	15.4366	15.4395	■																																							
3	17.0523	17.0609	■																																							
4	18.3582	18.3709	■																																							
5	19.2926	19.3073	■																																							
6	19.8187	19.8334	■																																							
7	19.9386	19.9515	■																																							
8	19.6793	19.689	■																																							

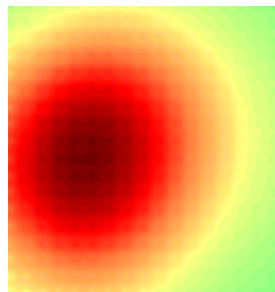
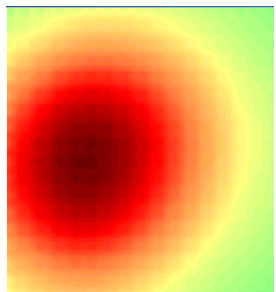
3.2.2. CrimeStat et Vertical Mapper

Seule l'option "closest point" donne un résultat similaire au niveau de la répartition géographique mais pas des valeurs des mailles.

CrimeStat Choice of bandwidth "adaptative" : Minimum sample size = 30	Vertical Mapper Méthode "In-radius search" avec search radius à 250 m	Vertical Mapper Méthode "Closest Point" avec "use the closest" à 30	Exemple de valeurs des mailles																																																		
			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Query2 Données</th> </tr> <tr> <th>id_grille</th> <th>kde_cs_ad30</th> <th>kde250_vm_in</th> <th colspan="2">kde_vm_30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>1</td><td>12.5772</td><td>7.18033</td><td>6.66498</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>2</td><td>13.7988</td><td>12.6696</td><td>8.26794</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>3</td><td>14.7527</td><td>12.4116</td><td>10.3252</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>4</td><td>16.6504</td><td>8.74799</td><td>13.809</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>5</td><td>17.868</td><td>8.18432</td><td>15.6191</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>6</td><td>18.5593</td><td>12.2547</td><td>16.4877</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>7</td><td>19.2188</td><td>13.7606</td><td>17.4233</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>8</td><td>18.9494</td><td>10.1851</td><td>15.4755</td></tr> </tbody> </table>	Query2 Données					id_grille	kde_cs_ad30	kde250_vm_in	kde_vm_30		<input type="checkbox"/>	1	12.5772	7.18033	6.66498	<input type="checkbox"/>	2	13.7988	12.6696	8.26794	<input type="checkbox"/>	3	14.7527	12.4116	10.3252	<input type="checkbox"/>	4	16.6504	8.74799	13.809	<input type="checkbox"/>	5	17.868	8.18432	15.6191	<input type="checkbox"/>	6	18.5593	12.2547	16.4877	<input type="checkbox"/>	7	19.2188	13.7606	17.4233	<input type="checkbox"/>	8	18.9494	10.1851	15.4755
Query2 Données																																																					
id_grille	kde_cs_ad30	kde250_vm_in	kde_vm_30																																																		
<input type="checkbox"/>	1	12.5772	7.18033	6.66498																																																	
<input type="checkbox"/>	2	13.7988	12.6696	8.26794																																																	
<input type="checkbox"/>	3	14.7527	12.4116	10.3252																																																	
<input type="checkbox"/>	4	16.6504	8.74799	13.809																																																	
<input type="checkbox"/>	5	17.868	8.18432	15.6191																																																	
<input type="checkbox"/>	6	18.5593	12.2547	16.4877																																																	
<input type="checkbox"/>	7	19.2188	13.7606	17.4233																																																	
<input type="checkbox"/>	8	18.9494	10.1851	15.4755																																																	

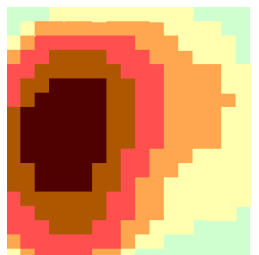
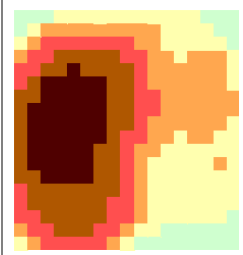
3.2.3. MapInfo et SAS

Les grilles obtenues sont de type "point" et non "rectangle", c'est pourquoi on les représente par une analyse thématique par coloration continue. Visuellement c'est similaire même si les données sont différentes.

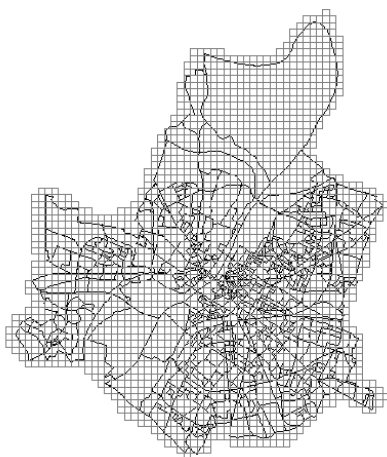
Requête MapInfo en appliquant la formule de SAS Et $\lambda=250$	SAS $bwm=2.212 \ 2.212$	Exemple de valeurs																											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Query1 Données</th> </tr> <tr> <th></th> <th>kde_mapinfo</th> <th>kde_sas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>■</td><td>7.68546</td><td>12.1493</td></tr> <tr><td>■</td><td>5.01063</td><td>9.39846</td></tr> <tr><td>■</td><td>2.6984</td><td>3.97578</td></tr> <tr><td>■</td><td>1.13472</td><td>2.11549</td></tr> <tr><td>■</td><td>1.55313</td><td>3.61826</td></tr> <tr><td>■</td><td>2.50424</td><td>5.45701</td></tr> <tr><td>■</td><td>9.92114</td><td>12.1313</td></tr> </tbody> </table>	Query1 Données				kde_mapinfo	kde_sas	■	7.68546	12.1493	■	5.01063	9.39846	■	2.6984	3.97578	■	1.13472	2.11549	■	1.55313	3.61826	■	2.50424	5.45701	■	9.92114	12.1313
Query1 Données																													
	kde_mapinfo	kde_sas																											
■	7.68546	12.1493																											
■	5.01063	9.39846																											
■	2.6984	3.97578																											
■	1.13472	2.11549																											
■	1.55313	3.61826																											
■	2.50424	5.45701																											
■	9.92114	12.1313																											

3.2.4. MapInfo et Spatial Analyst

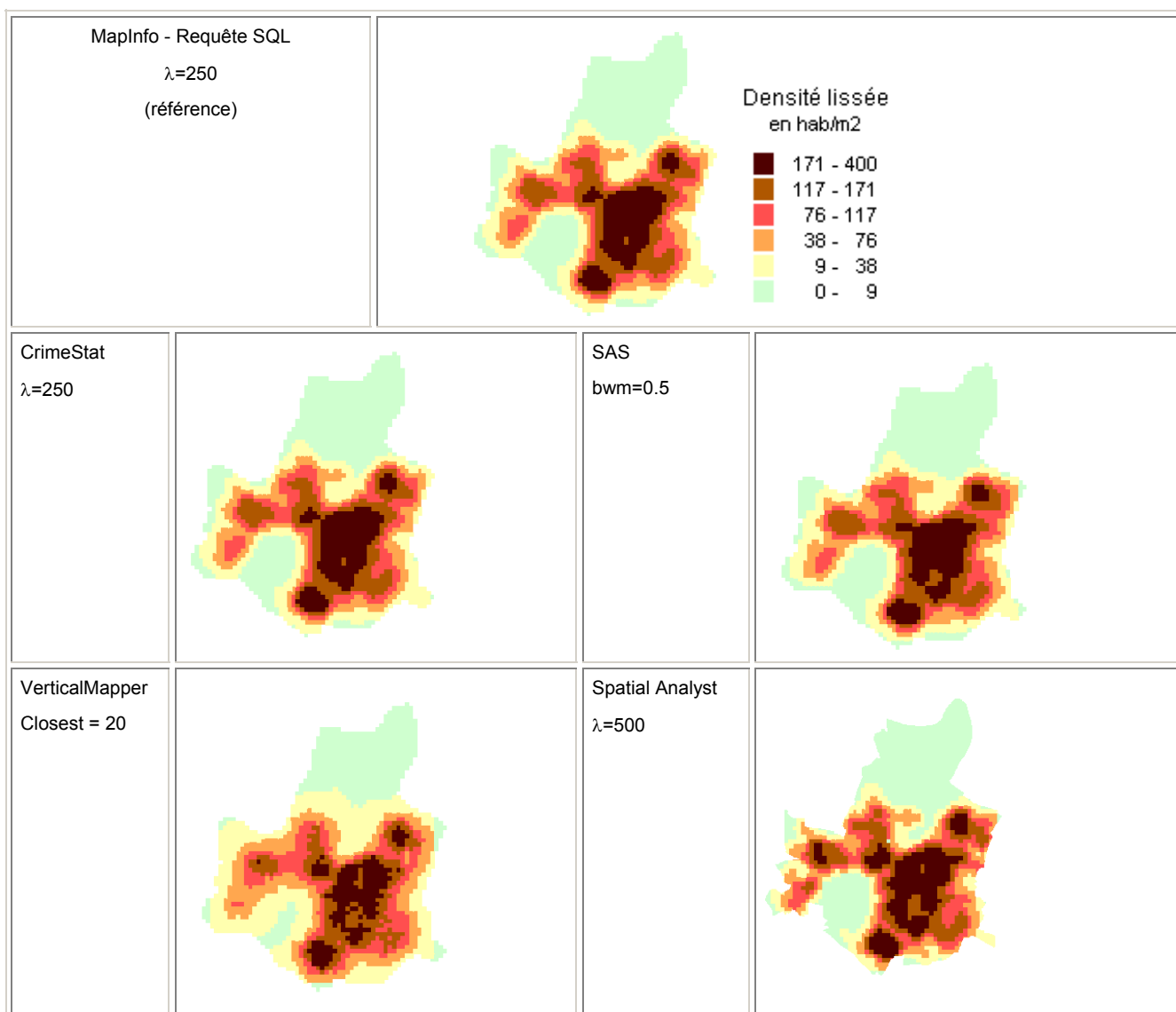
Les valeurs des mailles sont différentes mais visuellement le lissage semble similaire, à condition de choisir un λ deux fois plus petit avec MapInfo qu'avec SpatialAnalyst.

Estimation avec MapInfo pour λ 100 m	Estimation avec Spatial Analyst pour un λ 250 m	Exemple de données (après normalisation)																								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Query2 Données</th> </tr> <tr> <th></th> <th>kde_mapinfo</th> <th>kde_esri</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>■</td><td>47.7541</td><td>48.3404</td></tr> <tr><td>■</td><td>49.034</td><td>48.6352</td></tr> <tr><td>■</td><td>49.5717</td><td>41.4023</td></tr> <tr><td>■</td><td>52.8633</td><td>39.2256</td></tr> <tr><td>■</td><td>58.6093</td><td>50.1543</td></tr> <tr><td>■</td><td>60.5007</td><td>62.3528</td></tr> </tbody> </table>	Query2 Données				kde_mapinfo	kde_esri	■	47.7541	48.3404	■	49.034	48.6352	■	49.5717	41.4023	■	52.8633	39.2256	■	58.6093	50.1543	■	60.5007	62.3528
Query2 Données																										
	kde_mapinfo	kde_esri																								
■	47.7541	48.3404																								
■	49.034	48.6352																								
■	49.5717	41.4023																								
■	52.8633	39.2256																								
■	58.6093	50.1543																								
■	60.5007	62.3528																								

3.3. Synthèse comparative sur une commune (Angers)



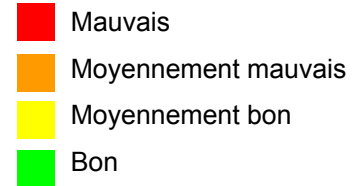
Pas de la grille = 150 m
 2305 mailles en supprimant les mailles hors commune.
 Découpage en 779 îlots – population 1999



Les résultats sont visuellement assez proches, les différences constatées étant peut-être dues au fait que des algorithmes légèrement différents soient employés. Le facteur λ n'influe sans doute pas de la même façon.

3.4. Conclusion sur les outils

Outil	Facilité de mise en oeuvre	Coût	Rapidité du calcul	Fiabilité (connaissance de l'algorithme)
MapInfo	Yellow	Yellow	Red	Green
CrimeStat II	Red	Green	Orange	Yellow
SAS V8	Orange	Red	Green	Green
VerticalMapper V3.0	Green	Orange	Yellow	Red
Spatial Analyst V8	Orange	Orange	Yellow	Orange



Les résultats des lissages selon les outils étant très proches, le choix d'utiliser l'un ou l'autre outil sera surtout fonction de :

- la fréquence d'utilisation de l'outil
- le nombre d'objets à lisser
- les moyens à y consacrer

L'algorithme n'est pas connu précisément dans la plupart des cas, il est donc difficile de porter un jugement sur sa pertinence.

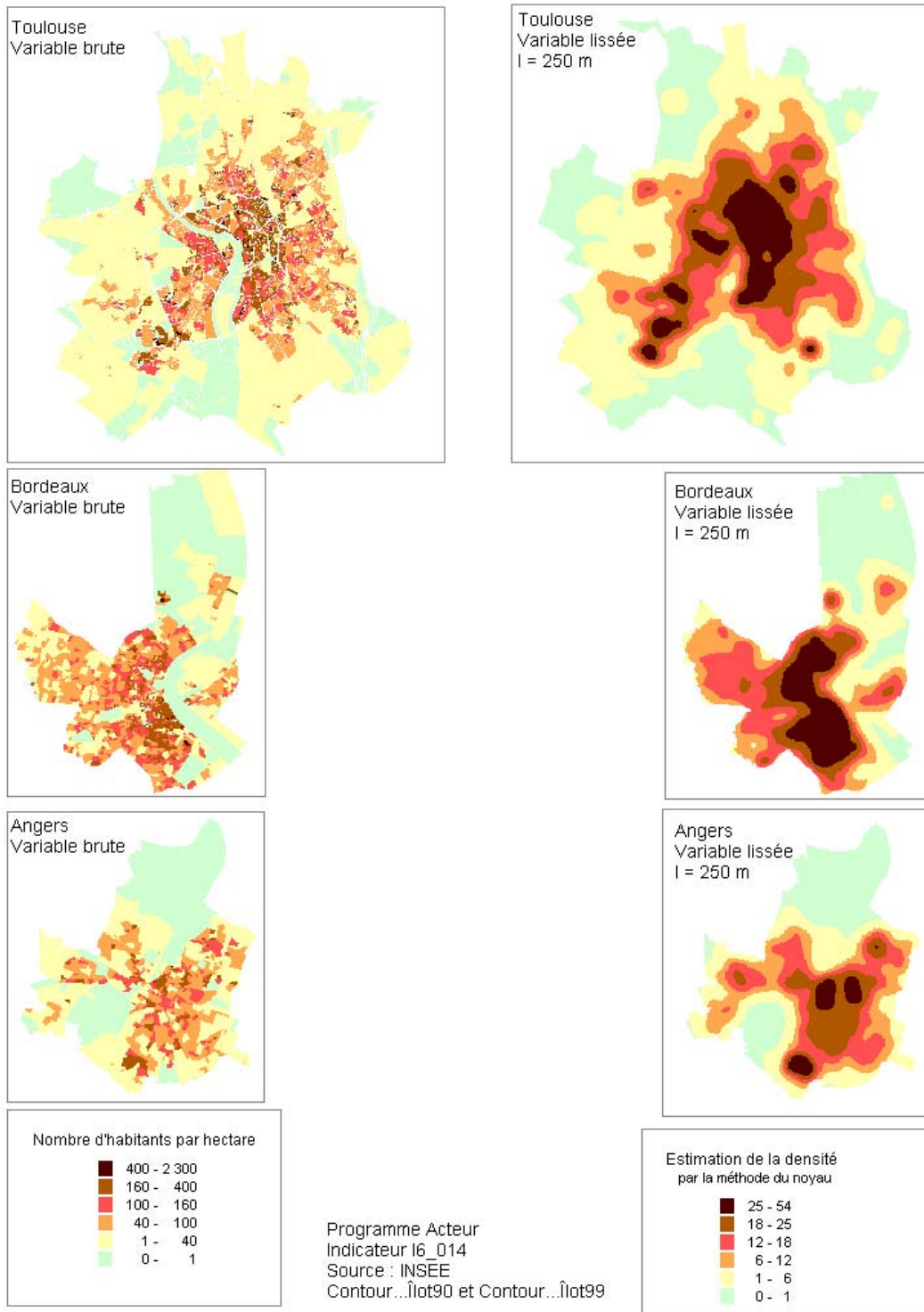
4. Résultats et évaluation de la méthode

NB : Les calculs ont été réalisés avec CrimeStat.

4.1. Densités de population à l'année N

La formule de lissage peut être appliquée directement à la population afin d'estimer sa densité. Elle permet de mettre en évidence les zones de forte concentration de population et d'éviter les morcellements.

Densités de population en 1999 sur les villes-centres Variables brutes et lissées

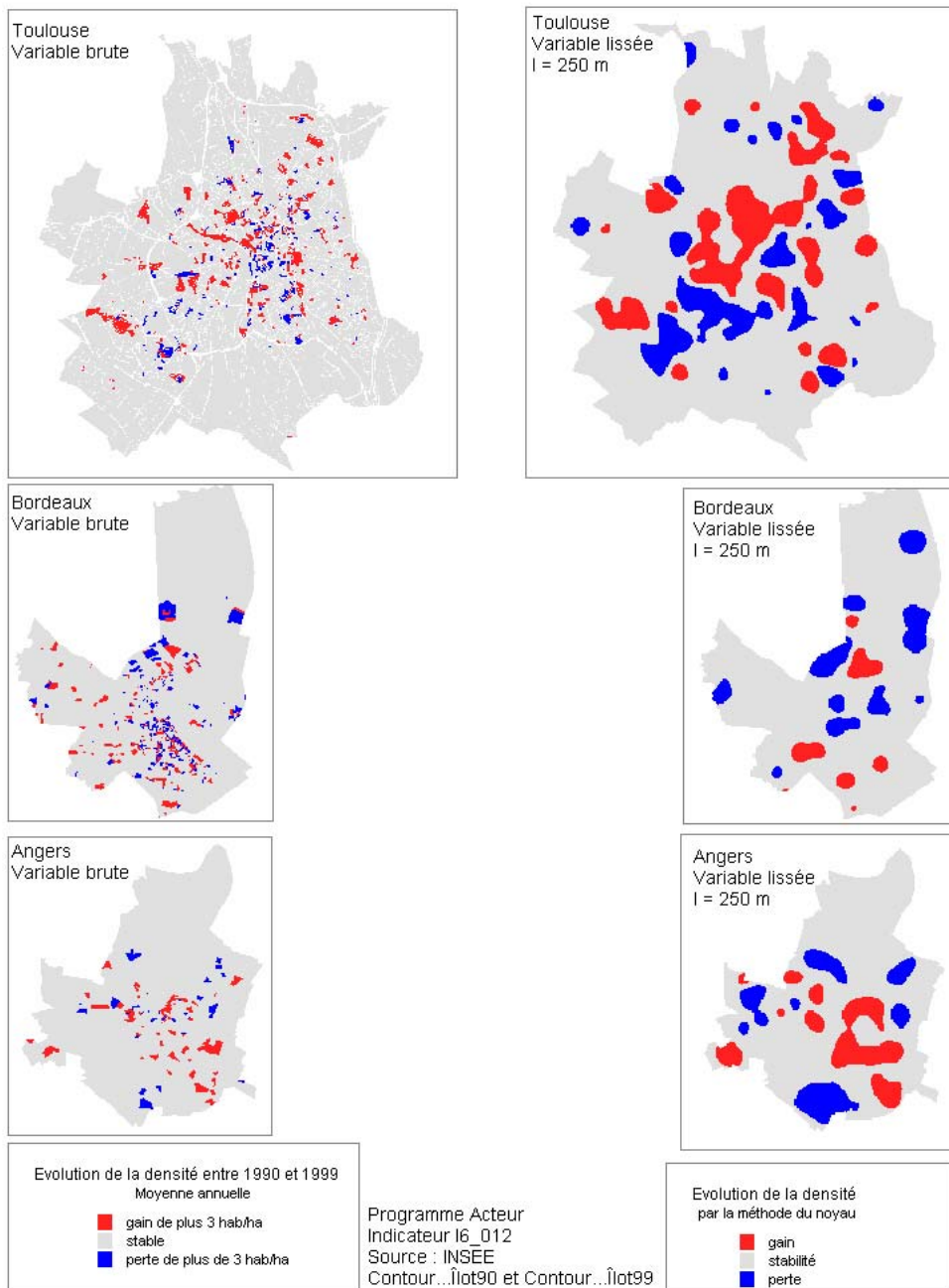


Les résultats peuvent être comparés au sein d'une agglomération, voire entre deux agglomérations. Les valeurs portées par les zones de forte densité sont peu dépendantes de leur positionnement au sein de l'agglomération.

4.2. Évolution de la densité

Il faut pour cela effectuer le calcul une fois à partir du découpage 1990 et une fois à partir du découpage 1999, et cela sur la même grille. La méthode étant linéaire, l'évolution peut être calculée à partir des valeurs lissées de population. On s'affranchit ainsi des différences de découpage entre 2 années. L'intérêt de la méthode apparaît surtout de manière visuelle. L'effet mosaïque est atténué. Une grande partie des épiphénomènes disparaissent.

Evolution des densités de population entre 1990 et 1999 sur les villes-centres
Variables brutes et lissées



En limite du périmètre d'étude, les valeurs lissées sont bien évidemment faussées par l'absence de données à l'extérieur du périmètre. Il conviendra donc de signaler ce phénomène, ou de réduire le périmètre visualisé lors de la cartographie pour exclure ces zones de l'affichage.

Des méthodes, non développées ici, existent pour tenir compte des effets de bord.

5. Conclusion et perspectives

L'observation des phénomènes de recomposition de l'occupation du sol nécessite d'aller au-delà des approches communales pour observer des phénomènes qui touchent au renouvellement et aux modifications de tissus déjà fortement urbanisés.

L'utilisation d'indicateurs simples à une échelle très fine donne le plus souvent une vision *brouillée* qui ne permet pas de mettre en évidence les continuités de tendances dans l'espace. Elle peut également mettre en évidence ce qui ne constitue que des épiphénomènes. Par exemple, la démolition d'une barre ou d'une tour va se traduire sur l'îlot concerné par une chute importante de la densité ce qui correspond bien à une réalité. Cependant, la *perception* des usagers va souvent au-delà de la limite de l'îlot ; la dédensification s'opère à une échelle plus large : celle du *quartier*, que l'on peut inclure par exemple dans un rayon autour de l'îlot considéré. Il est donc impératif d'avoir recours à des données dites *lissées*, permettant d'appréhender plus globalement les phénomènes dans l'espace.

Le mode de calcul retenu pour ce lissage n'est pas neutre dans la mise en évidence des phénomènes. Le point de vue de celui qui connaît le territoire étudié est essentiel pour évaluer les valeurs à affecter aux paramètres et la fiabilité des résultats. Les tests réalisés doivent donc être validés par les structures locales ayant une bonne connaissance du terrain.

L'indicateur proposé par le CERTU permet de pointer les zones à étudier de façon plus approfondie. Cependant, une fois les cartes produites, il convient de faire une analyse au cas par cas des phénomènes observés, afin de fixer la valeur des paramètres et d'éliminer les zones qui seraient faussement mises en évidence par le lissage.

A l'inverse, il faut s'assurer que ce mode de calcul identifie bien toutes les zones qui méritent de l'être.

© ministère de l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de la Mer
centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Certu est illicite (loi du 11 mars 1957).
Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

Reprographie: CETE de Lyon ☎ (+33) (0) 4 72 14 30 30 (avril 2005)

Dépôt légal: 2^e trimestre 2005

ISSN: 1263-2570

ISRN: Certu/RE -- 05 - 10 -- FR

Certu

9, rue Juliette-Récamier

69456 Lyon Cedex 06

☎ (+33) (0) 4 72 74 59 59

Internet <http://www.certu.fr>