

Identification et cartographie des concentrations spatiales des accidents de la route

Application à la RN 11 (Ouest algérien)

■ Abdelkader MENDAS - Samir HAMDOUN - Hocine NECHNICHE

L'amélioration des conditions de sécurité des personnes qui utilisent la route chaque jour fait intervenir plusieurs facteurs, principalement l'infrastructure routière.

Pour éviter les dégâts des accidents et assurer le confort des passagers, il faut tout d'abord connaître les causes réelles provoquant les accidents de la route puis identifier les lieux de concentration spatiale des accidents de la route sous la forme de zones noires pour, finalement, prendre les meilleures décisions.

Cette identification requiert l'utilisation de méthodes statistiques adéquates pour avoir des diagnostics fiables. Les systèmes d'information géographique (SIG) sont de plus en plus utilisés pour mettre en place des outils de suivi et de gestion locale de la sécurité routière. Dotés de modules relatifs à la segmentation dynamique capable d'associer un ensemble d'attributs à un objet linéaire sans changer sa description géométrique, ils sont apparus nécessaires pour la cartographie des zones noires. L'application de la méthode à un tronçon de la Route Nationale RN11 montre son adéquation au problème de la localisation des zones noires.

■ mots-clés

Accidents routiers,
Analyse spatiale,
Statistiques spatiales,
SIG

L'augmentation du nombre des véhicules liée aux besoins de déplacement des personnes et au développement des échanges économiques a entraîné une accélération sans précédent du trafic, c'est pourquoi des infrastructures routières ont été conçues et des moyens nécessaires à leur maintenance doivent être mis en place. En parallèle des avantages de la voiture, nous trouverons de véritables problèmes socio-économiques, dans tous les pays du monde, qui sont les accidents de la route.

Pour résoudre ces problèmes, au niveau de l'infrastructure routière, il faut tout d'abord identifier les lieux dangereux du réseau routier. Cette identification se fait couramment par l'utilisation de l'approche par points noirs. S'inspirant des travaux de Flahaut B. (2000), les points

noirs sont des segments de route (d'une longueur de 100 mètres) qui comptabilisent au moins trois accidents avec lésions pendant une année. Ce procédé ne tient pas compte de la migration des accidents au cours du temps et l'identification n'est que ponctuelle. Pour une identification plus satisfaisante, les endroits de concentration spatiale des accidents de la route peuvent être représentés sous forme de zones noires Flahaut B. (2000). L'utilisation d'une méthode d'analyse spatiale basée sur des mesures locales d'autocorrélation spatiale permet la localisation de ces zones noires.

Ainsi, le réseau est décomposé en unités d'un hectomètre de longueur (assimilé à une entité ponctuelle) ; c'est la plus petite unité spatiale pour laquelle les données d'accidents sont disponibles. Les zones

noires sont constituées de plusieurs hectomètres et définies comme des tronçons de route caractérisés par une concentration élevée d'accidents.

L'objectif principal de cette étude est de définir les zones dangereuses (zones noires), montrer si une zone est statistiquement plus dangereuse qu'une autre, déterminer sa longueur et enfin, cartographier les zones noires par l'utilisation d'un SIG. Ainsi, ce sont les possibilités d'analyses statistique et spatiale, pour l'identification des concentrations spatiales des accidents routiers, qui seront explorées. Les SIG, outils puissants en matière d'analyse spatiale pour aider à la gestion et à la prise de décision, seront exploités pour la gestion des réseaux routiers et en particulier pour la cartographie des zones noires.

■ ■ ■

■ Accidents routiers

L'explication du nombre et des victimes d'accidents de la route est une tâche très difficile, voire impossible. Les accidents résultent principalement de l'interaction de trois éléments fondamentaux à savoir le véhicule, le conducteur et l'infrastructure routière.

L'analyse des données sur les accidents, cas de la Wilaya d'Oran, illustrés sur le tableau I montre que, souvent, la combinaison du comportement dynamique du véhicule et la capacité du conducteur à maîtriser la situation critique produit l'accident.

Il est donc essentiel que les infrastructures et leur environnement soient conçus de façon à ne pas imposer aux usagers de difficultés excessives et à leur permettre de percevoir clairement les exigences auxquelles ils doivent adapter leur conduite, en évitant que la route ne présente aucune apparence trompeuse et ne constitue en aucun cas un piège auquel l'usager se laisse prendre (Hamzaoui O, 1996).

Approche méthodologique

La meilleure façon de réaliser une approche à long terme, sur des bases scientifiques, pour la mise en œuvre

d'un système de trafic routier plus sûr, est de s'attaquer aux causes qui sont à l'origine des accidents, en éliminant les zones de conflit ou en les rendant maîtrisables par les usagers de la route.

Pour ce faire, on dispose de plusieurs approches. La plus traditionnelle est celle de l'analyse des accidents sur leurs emplacements (points noirs, itinéraires noirs et zones noires) : on cherche des similitudes entre les caractéristiques des accidents. Il faut ensuite trouver comment améliorer la conception routière afin d'éliminer ces accidents.

Selon (Slop, 1993) l'approche dite des "zones noires" est très efficace. Ces zones dangereuses (zones noires) sont définies en se basant sur des éléments statistiques. Il est à déterminer, statistiquement, le degré de dangerosité, définir la longueur à attribuer à chaque zone et voir si elle est unique ou variable d'une zone à l'autre.

A cet effet, on utilise des mesures de dangerosité basées sur l'autocorrélation spatiale dont les indices permettent de mesurer la dépendance/association spatiale entre les valeurs x_i prises par une même variable X en des lieux caractérisés par une certaine proximité spatiale (Thomas I., 1996).

■ Analyse spatiale

L'expression "analyse spatiale" recouvre un ensemble de théories et de méthodes de recherche qui étudient la répartition et l'organisation d'objets localisables.

Cette localisation se fait par l'intermédiaire d'une géoréférence, d'un géocodage, qui permet d'assigner une localisation à un objet dans un système de référence géographique précis, ou à un ensemble d'objets dans un système commun.

L'analyse spatiale permet, en particulier, de localiser l'endroit dans l'espace où se produira un phénomène, étudier la dimension spatiale et la localisation de plusieurs phénomènes à la fois et comparer les différents attributs des lieux étudiés entre eux, dans la mesure où ces lieux sont comparables et enfin de décider et prévoir à partir des modèles construits et des simulations permettant de tester les qualités comparatives des différents scénarios.

■ Statistiques spatiales

Pris dans son sens méthodologique le plus large, ce terme désigne toute analyse utilisant l'outil statistique et ayant une dimension spatiale qui concerne l'outil proprement dit, l'objet analysé ou les variables utilisées comme descripteur de cet objet. Différentes combinaisons sont possibles :

- Seul l'objet est spatial ;
- Objets localisés et variables spatiales ;
- Objets localisés et outils statistiques spatiaux.

Pour l'étude de l'accidentologie routière, la première étape consiste à étudier la concentration spatiale des accidents de la route, plus précisément à identifier les zones de concentration spatiale d'accidents, ou zones noires (zones dangereuses).

Parmi les méthodes les plus utilisées, se trouve l'autocorrélation spatiale. Elle fait intervenir les objets localisés et les outils statistiques spatiaux.

■ Méthode d'autocorrélation spatiale

Les mesures d'autocorrélation spatiale se fondent sur l'hypothèse que ce qui se passe en un lieu géographique

Tableau I : Bilan d'accidents au niveau de la Wilaya d'Oran.

(Source : Escadron de la sécurité Routière de la Gendarmerie Régionale - Oran)

Causes	1999	2000	2001	2002
Liées aux véhicules	40	61	62	32
Dépassement dangereux	66	73	69	105
Arrêt dangereux	14	0	12	10
Excès de vitesse	141	193	266	115
Conduite en état d'ivresse	36	43	69	28
Non-respect du code de la route	6	0	1	11
Refus de priorité	78	43	19	44
Chaussées défectueuses	4	0	3	5
Défaut de signalisation	1	0	0	0
Divagation d'animaux	4	0	0	2
Mauvaises conditions atmosphériques	10	25	20	14
Autres causes	119	95	55	178

donné dépend de ce qui se passe dans les lieux voisins. Elles prennent en compte la position relative des lieux les uns par rapport aux autres (deux lieux proches se ressemblent-ils plus que deux éloignés ?).

Selon Flahaut B. (2000) les indices d'autocorrélation spatiale permettent de mesurer la dépendance/association spatiale entre les valeurs x_i prises par une même variable x , nombre d'accidents par hectomètre de route, en des lieux caractérisés par une certaine proximité spatiale. Le choix de la longueur est un aspect important à prendre en compte, d'après Thomas (1996), le choix de la longueur des tronçons de route influe sur les mesures statistiques liées au nombre et à la densité des accidents.

■ Choix de la méthode de l'autocorrélation spatiale

Selon Tobler (1970) : "everything is related to everything else, but near things are more related than distant things" Si les valeurs x_i , prises par une même variable x en différents lieux i , sont interdépendantes dans l'espace, on dit alors que les données sont autocorrélées spatialement (Cliff & Ord, 1981). L'estimation de l'association/dépendance/corrélation spatiale entre les valeurs d'une même variable en différents endroits de l'espace, plus ou moins proches les uns des autres, peut se faire par des mesures d'autocorrélation spatiale. Getis (Ord & Getis, 1995) a déjà démontré la relation entre l'interaction spatiale et l'autocorrélation spatiale.

Les lieux présentant des relations par rapport à la proximité spatiale et la ressemblance ou l'opposition entre les valeurs d'une même variable en différents endroits de l'espace étudié peuvent se mettre en évidence par les indices d'autocorrélation spatiale.

Ainsi, pour l'identification des zones noires sur un réseau routier, sachant que l'hectomètre constitue la plus petite unité spatiale à laquelle les accidents sont localisés, il s'agit de regrouper des hectomètres voisins en zones dangereuses et des zones non dangereuses (Flahaut B., 2000).

Ainsi, grâce à l'autocorrélation spatiale (mesure d'un indice de dangerosité de tronçons routiers), peuvent être indiquées la longueur des zones et l'intensité du caractère dangereux de la zone.

■ Indices de l'autocorrélation spatiale

D'après Upton & Fingleton (1985), l'indice de Moran, donné par la formule (1), est souvent préféré à celui de Geary, pour estimer si l'ensemble des lieux appartenant à la région d'étude présente de l'autocorrélation spatiale.

$$I = (n/S_0) \left(\sum_i \sum_j w_{ij} z_i z_j / \sum_j z_j^2 \right) \quad (1)$$

Où W_{ij} : pondérations reflétant les relations de proximité.

$$x_i : \text{valeur de la variable } x \text{ au lieu } i$$

$$S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij} \quad (2)$$

$$x_j : \text{valeur de la variable } x \text{ au lieu } j$$

$$z_i = x_i - \bar{x} \quad (3)$$

$$\bar{x} : \text{valeur moyenne des } x_i$$

$$z_j = x_j - \bar{x} \quad (4)$$

n : nombre de lieux.

Un indice négatif traduit une autocorrélation spatiale négative. Cette dernière est le résultat d'une association de valeurs opposées, c'est-à-dire le produit d'une valeur négative pour le lieu i , et d'une valeur positive pour son voisinage, ou inversement. Un indice positif traduit une autocorrélation spatiale positive, déduite d'une association de valeurs similaires.

Sachant que l'objectif principal de cette étude est l'identification des zones noires, nous nous intéressons seulement au cas du produit de deux valeurs positives. En effet, une zone noire est formée d'un ensemble d'hectomètres proches présentant un nombre élevé d'accidents. Ainsi, pour identifier les zones noires et évaluer l'indice de dangerosité, seuls les indices locaux positifs déduits du produit de deux valeurs positives sont retenus.

■ Pondération

Pour évaluer les coefficients de pondération, il est nécessaire d'intervenir le niveau de contiguïté (nombre de voisins de chaque lieu ou distance de voi-

sinage) et la valeur des poids attribués à chacun d'eux (Anselin L., 1995).

Pour évaluer le nombre optimal de voisins, il faut effectuer pour chaque hectomètre de la route une analyse systématique et exploratoire. Ainsi, en se basant sur les travaux de Flahaut B. (2000) pour calculer les indices locaux d'autocorrélation spatiale, on utilise des tronçons de longueurs variant de 300 à 2 100 mètres d'un pas de 200 mètres (c'est-à-dire le nombre de voisins varie de 2 à 20, répartis de façon symétrique de part et d'autre de l'hectomètre central). Le nombre optimal de voisins correspond à la valeur maximale de l'indice local d'autocorrélation spatiale. Cette valeur est le produit de deux valeurs positives (les plus élevées) relatives à un hectomètre et à ses voisins.

Selon Cliff et Ord (1981) et Haining (1990), il existe plusieurs possibilités pour déterminer la valeur des pondérations. Ici, sont pris en considération des poids qui sont fonction de la distance au lieu considéré. La fonction de décroissance des pondérations avec la distance "dij" est choisie du fait qu'elle maximise l'indice moyen d'autocorrélation spatiale locale. Elle traduit une forte association entre les nombres d'accidents observés dans les zones noires. "Cette constatation est en cohérence avec la littérature relative à l'interaction spatiale qui considère généralement que les relations spatiales entre lieux sont décroissantes avec l'inverse du carré de la distance" (Flahaut B., 2000 : p 12).

Traitement de données et résultats

Les données prises en compte ne concernent que les accidents avec lésions corporelles qui nécessitent l'intervention des services de la gendarmerie et qui sont en principe répertoriés.

Dans la Wilaya d'Oran, est relevé un chiffre d'environ 465 accidents par année en moyenne, et 1 859 accidents sur 3 ans et demi durant la période de septembre 1999 à février 2003 selon l'escadron de la sécurité routière de la gendarmerie régionale d'Oran.

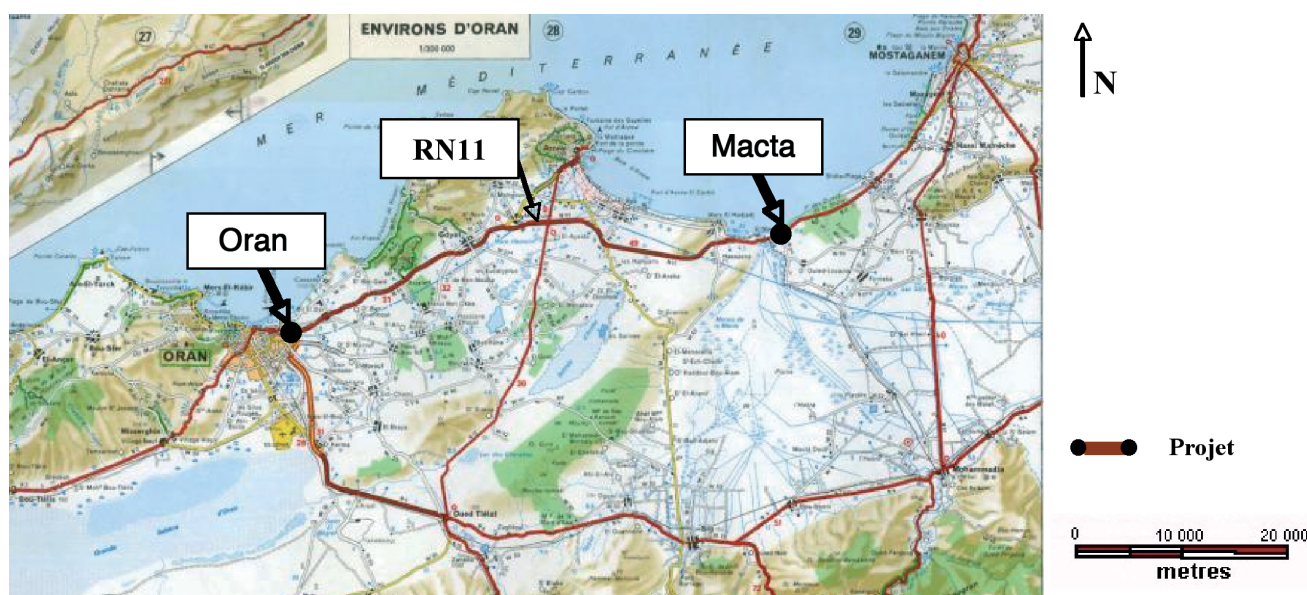


Figure 1 : Situation de la zone d'étude.

(Source : Carte Michelin éd. des voyages, 2003 - 1st ed. - 1:1 000 000 - (Michelin / National ; 743). Cartons : "Environs d'Oran" à 1:300 000

Sur les 4 430 hectomètres de la RN11, seuls 630 sont retenus (disponibilité de données). Au cours de cette période, 252 accidents ont été enregistrés. Le nombre moyen d'accidents par hectomètre est donc de 0.4.

La numérotation du réseau de route nous a facilité la localisation de l'accident par rapport à la borne kilométrique (point kilométrique) la plus proche, soit avec une précision de 100 mètres afin de pouvoir affecter un nombre d'accidents à chaque hectomètre de la route. Le tronçon concerné par cette étude fait partie de la RN11, il relie la ville d'Oran et la Macta (voir Fig. 1).

Au cours de cette étude, a été réalisé un programme appelé ICSAR (Identifica-

tion des Concentrations Spatiales des Accidents de la Route) pour calculer l'indice d'autocorrélation spatiale, l'indice de dangerosité et identifier la concentration spatiale des accidents de la route. Son application nécessite des données sur les accidents, la longueur de la zone d'étude, le nombre de voisins qui peut être traduit par une longueur et l'exposant pour les fonctions de décroissance.

La figure 2 représente l'indice d'autocorrélation globale en fonction de l'exposant de la fonction de pondération dij pour chaque longueur de la zone noire. L'association du nombre d'accidents entre un hectomètre i et ses voisins est très souvent plus intense avec ses voi-

sins immédiats ou ceux les plus proches. On remarque que la décroissance de l'indice global est plus importante avec un exposant de dij plus proche de zéro et on constate que l'indice global se regroupe entre 0.2 et 0.3 pour un faible exposant qui est de -2 (voir Fig. 2).

Sur ce graphe apparaît clairement la variation de l'indice global d'autocorrélation spatiale en fonction de la longueur des zones noires. De même, on remarque que, pour un nombre donné de voisins, l'indice global augmente lorsque l'exposant de dij diminue, et que cette croissance est d'autant plus prononcée que le nombre de voisins est grand. La figure 3 montre qu'à chaque

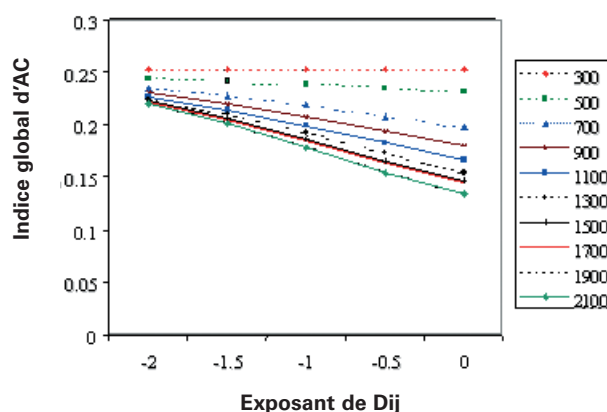


Figure 2 : Variation de l'indice global selon les fonctions de décroissance des pondérations dij.

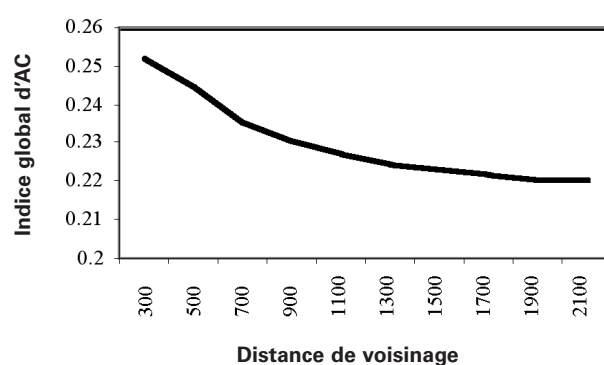


Figure 3 : Variation de l'indice global d'autocorrélation spatiale en fonction de la distance de voisinage (cas de dij⁻²).

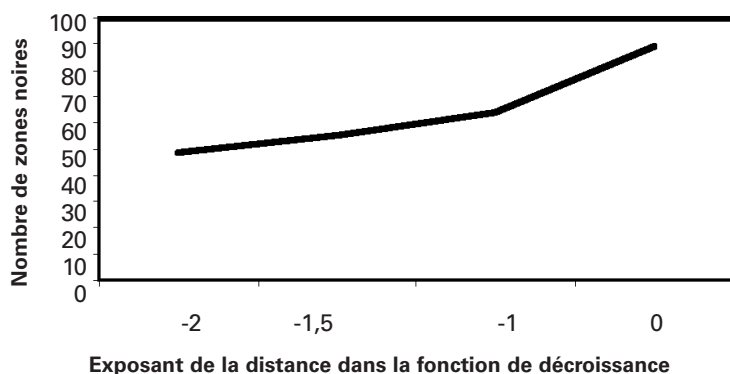


Figure 4 : Variation du nombre de zones noires en fonction de dij.

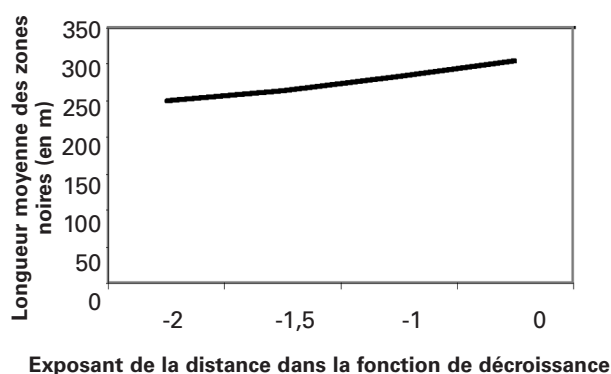


Figure 5 : Variation de la longueur moyenne des zones noires en fonction de dij.

fois la longueur de la zone noire augmente, l'indice d'autocorrélation global diminue. Le choix de la longueur adaptée à la structure spatiale locale et l'influence de la fonction de décroissance des pondérations avec dij sur la détermination des zones noires ont été étudiés dans cette étude.

En choisissant des exposants de dij de plus en plus petits, on peut observer une diminution du nombre de zones noires identifiées (voir Fig. 4) et une diminution de leur longueur moyenne (voir Fig. 5).

En utilisant un exposant plus faible, on remarque une diminution du nombre de zones noires identifiées par rapport au cas d'un exposant plus grand (ce sont les plus longues qui ne sont plus identifiées). La longueur de ces zones est en moyenne plus petite et leur indice de dangerosité est élevé. Quant à la valeur moyenne de l'indice local d'autocorrélation spatiale (proportionnelle à l'indice global de l'ensemble des zones noires), elle augmente lorsque l'exposant de la distance diminue. Ce sont donc les zones noires les moins significatives qui ne sont plus identifiées en diminuant l'exposant de dij.

Les systèmes d'information géographique, par le biais du module Network Analyst du logiciel ArcView PC version 3.2 d'ESRI (ESRI, 1996) utilisé pour l'exploration des fonctions d'analyse spatiale, ont facilité la cartographie des zones noires de la RN11 (voir Fig. 6).

Le module Network Analyst offre aux utilisateurs les fonctionnalités d'analyse

de réseaux linéaires. Il permet de résoudre de nombreuses problématiques liées à des données de dimension linéaire dans différents domaines. Il est doté d'une fonction de segmentation dynamique qui a permis la représentation des zones noires sur le réseau routier. La segmentation dynamique, en utilisant la notion d'abscisse curviligne, a la capacité d'associer un ensemble d'attributs à n'importe quel segment linéaire sans changer sa description géométrique c'est-à-dire sans segmenter ou casser le dispositif linéaire avec des pseudo nœuds. Elle repose sur la notion de route, section et événement. Ce dernier peut être ponctuel, linéaire continu ou linéaire discontinu (cas de zones noires).

Les zones dangereuses sont identifiées avec des pondérations proportionnelles à dij^{-2} et classées en 3 catégories. Les zones noires les moins dangereuses ne sont pas représentées sur la carte de façon à mieux visualiser les zones noires les plus dangereuses. L'ensemble des lieux pour lesquels les mesures locales d'autocorrélation spatiale sont effectuées est constitué des hectomètres caractérisés par au moins un accident. Les hectomètres sans accident n'interviennent pas dans les mesures.

Conclusion

La détermination de l'indice de dangerosité, calculé en fonction des indices d'autocorrélation spatiale, a permis l'identification des zones dangereuses

sur une partie de la route nationale RN11 (Oran-Macta).

Ces indices sont proportionnels au nombre moyen d'accidents par hectomètre. Le choix d'un exposant (fonction de décroissance des pondérations avec la distance) faible a permis de limiter le nombre et la longueur des zones noires identifiées. La classification des zones noires selon leur indice de dangerosité permet de connaître les plus dangereuses afin de s'intéresser à leur aménagement. Le programme ISCAR, réalisé au cours de cette étude, nous a beaucoup facilité le calcul des indices d'autocorrélation et de dangerosité. Il est facile à manipuler et donne des résultats jugés satisfaisants.

Vu la grande superficie du pays et par conséquent le réseau routier national par rapport à la zone traitée et le nombre de zones noires identifiées (63 km, 16 zones noires), imaginons le nombre de zones noires sur l'ensemble du réseau routier.

Les systèmes d'information géographique, par leur puissance d'analyse spatiale, se montrent des outils nécessaires pour une gestion rationnelle d'un réseau routier et un moyen d'aide à la prise de décision. Dans ce sens, l'utilisation de la segmentation dynamique disponible au niveau du module Network Analyst, dédié principalement à la gestion des réseaux, a donné pleine satisfaction.

Enfin, une fois les zones noires délimitées, les organismes compétents peuvent, voire doivent se concentrer sur les premières zones noires classées plus dangereuses pour les traiter et les aménager. ● ■ ■ ■

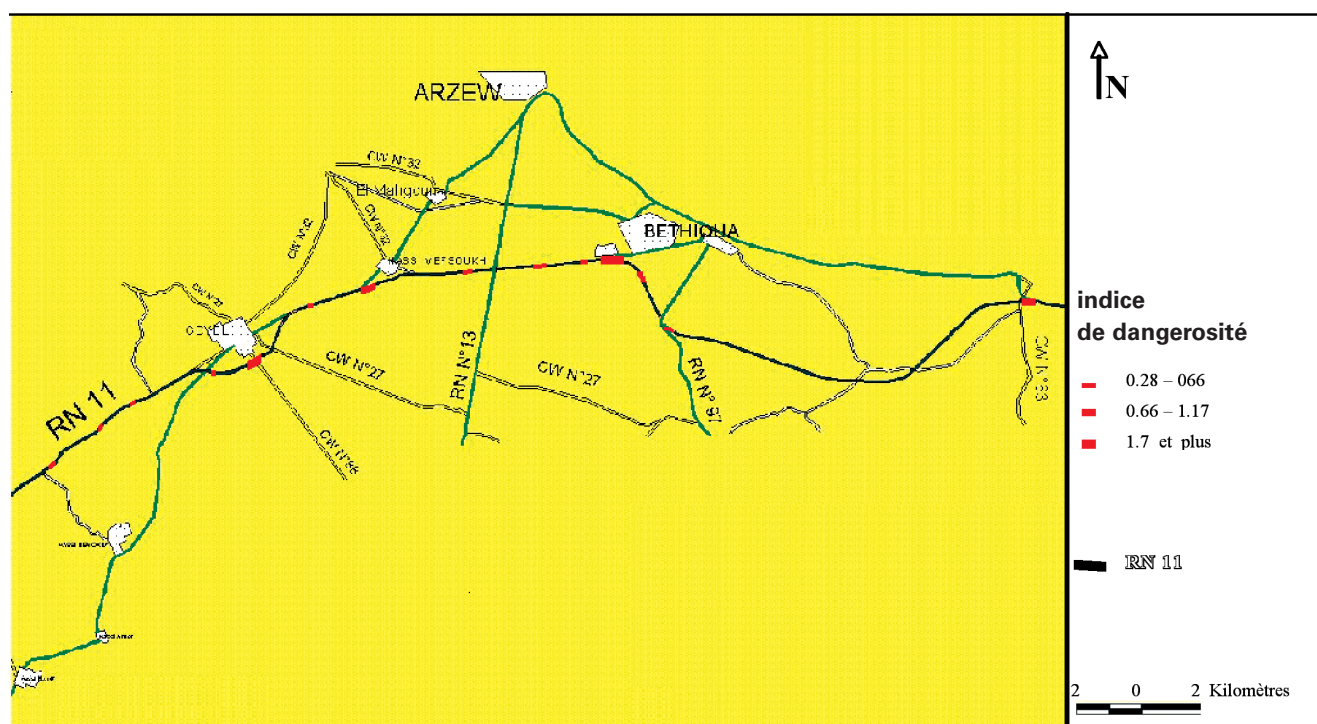


Figure 6 : Représentation des zones noires.

■ ■ ■ Contacts

**Abdelkader MENDAS - Samir HAMDOUN
- Hocine NECHNICHE**

CNTS, Division de Géomatique
BP 13, Arzew 31200, Oran, Algérie
Tél. (213) 41472217
Fax. (213) 41473665
mendask@yahoo.fr

Références bibliographiques

ANSELIN L., 1995. *Local Indicators of Spatial Association - LISA*. Geographical Analysis, 93-115.
CLIFF A.D. and ORD J.K., 1981. *Spatial processes : Models and applications*. London - Pion, 266 p.
Escadron de la sécurité routière de la gendarmerie régionale d'Oran, 2002. *Données statistiques sur les accidents routiers au niveau de la wilaya d'Oran*.
ESRI, 1996. *ArcView GIS : The Geographic Information System for Everyone*. GIS by ESRI, Using ArcView. Environmental Systems Research Institute, Inc., 349 p.
FLAHAUT B., 2000. *Influence de l'aménagement du territoire sur la sécurité routière durable : analyse de la*

situation belge. Rapport de recherche inédit, Louvain la neuve, 54 p.

HAINING R., 1990. *Spatial data analysis in the social and environmental sciences*. Cambridge, University press, 409 p.

HAMZAOUI O., 1996. Réalité de la prévention et de la sécurité routière en Algérie. 2^e Congrès Algérien de la Route, 156-163.

ORD J.K. & GETIS A., 1995. *Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and applications*. Geographical analysis, 286-306.

SLOP M., 1993. *Low-cost engineering measures to improve road safety in Central and Eastern European Countries*. A-93-25, SWOV, Leidschendam.

THOMAS I., 1996. *Spatial data aggregation: exploratory analysis of road accidents*. Accident Analysis and Prevention, 251-264.

TOBLER W.R., 1970. *A computer movie simulating urban growth in the Detroit region*. Economic Geography, Supplement, 234-240.

UPTON G. & FINGLINGTON B., 1985. *Spatial data analysis by example*. New York, Wiley.

ABSTRACT

Keywords: Road accidents, Spatial analysis, Spatial statistics, GIS.

The improvement of security conditions of persons using the road every day makes use of several factors, mainly the road infrastructure. To avoid damages caused by accidents and to assure the comfort of passengers, it is necessary to know the real reasons provoking accidents of the road then to identify places of spatial concentration of the road accidents in black zones to take, finally, the best decisions. This identification requires the use of adequate statistical methods to establish best diagnoses. Geographical information systems (GIS) are used to put in place tools of follow-up and local management of the road security. Doted of modules relative to the dynamic segmentation able to associate a set of attributes to a linear object without changing its geometric description, they appeared necessary for the cartography of black zones. The application of the method to a section of the National Road RN11 shows its adequacy to the problem of the black zones localization.