

Partie 1:
Modes de production et de consommation durables

RESUME



**TECHNIQUES INNOVATIVES D'ANALYSE SPATIALE EN MATIÈRE DE
SÉCURITÉ ROUTIÈRE**

CP/34

Thérèse Steenberghen – KULeuven/R&D Division SADL (coordinator)
Isabelle Thomas – UCL/Unité de Géographie
Geert Wets – Universiteit Hasselt (vroeger Limburgs Universitair
Centrum) /Vakgroep Verkeerskunde & Beleidsinformatica)

Janvier 2005

Table Des Matières

1	Thème et but de la recherche.....	3
2	Résumé des résultats de la recherche	4
2.1.	Les données des accidents.....	4
2.1.1	Actualisation de la base de données des accidents de la route, et localisation des accidents (KUL)	4
2.1.2	Evaluation de la qualité des données (KUL, UCL, LUC)	4
2.1.3	Evaluation de la pertinence de données (LUC)	4
2.2.	Analyse d'images satellites à haute résolution à l'aide de techniques de télédétection.....	5
2.2.1	Télédétection	5
2.3.	Statistiques spatiales	6
2.4.	Groupement (clusters) d'accidents à partir de modèles	7
2.5.	Caractérisation des accidents en zone noire au moyen de règles associatives.....	8
2.6.	Répartition spatio-temporelle des accidents de la route en périphérie urbaine. L'exemple de Bruxelles.....	9
2.7.	Emboîtement d'échelles et explication statistique de l'occurrence des accidents en périphérie bruxelloise.....	10
3	Conclusions générales.....	11

1. Thème et but de la recherche

"Techniques innovatrices pour l'Analyse de la Sécurité Routière" est un ensemble cohérent de 3 sousprojets réunis en réseau multidisciplinaire thématique. Le but de la recherche consistait à découvrir les facteurs déterminants de la sécurité routière, afin de poursuivre graduellement la mise en place d'un modèle explicatif.

Dans ce but, différentes techniques innovatrices d'analyse spatiale furent explorées. Il s'agissait plus particulièrement des approches suivantes, pour les 3 groupes de recherche:

- **Analyse d'images satellites à haute résolution à l'aide de techniques de télédétection adaptées (KUL):**
Investigation des possibilités d'images satellites à haute résolution pour l'identification de l'aménagement, de l'infrastructure et de caractéristiques du trafic.
- **Statistiques spatiales (KUL)**
Ce volet de la recherche consistait d'une part de l'analyse de la significativité statistique des zones à risque, et d'autre part la recherche des relations possibles entre des caractéristiques socio-économiques des quartiers et les concentrations d'accidents, à l'aide de régression spatiale.
- **Groupement d'accidents à partir de modèles (LUC)**
Les données d'accidents utilisées pour cette recherche, étaient composées de tous les accidents avec lésions corporelles pour la période 1991-1999, avec, par accident, plus d'une centaine de données. Des techniques de groupement étaient nécessaires pour identifier des structures, des compositions et des relations dans cette grande base de données.
- **Règles associatives (LUC)**
Des techniques de règles associatives étaient utilisées pour déterminer l'importance des données, ainsi que les facteurs et les circonstances typiques des accidents en zones noires.
- **Analyse des variations spatio-temporelles de la dispersion des accidents de la route (UCL)**
Il s'agissait, ici, d'analyser la stabilité et les variations spatio-temporelles des zones noires en périphérie urbaine.
- **Analyse multi niveau (UCL)**
Les facteurs explicatifs de l'insécurité routière dépendent beaucoup de l'échelle d'analyse. Au lieu de développer des modèles différents pour chaque échelle, l'analyse multi niveau a permis de modéliser des interactions propres au niveau, ainsi que des interactions entre les niveaux.

Très vite, le développement d'un modèle explicatif intégré s'est avéré trop complexe. Par contre, les techniques utilisées ont contribué à une analyse statistique plus fondée des concentrations d'accidents.

2 Résumé des résultats de la recherche

2.1. Les données des accidents

2.1.1 Actualisation de la base de données des accidents de la route, et localisation des accidents (KUL)

Dans une première étape, il a fallu actualiser la base de données pour avoir une base des accidents avec lésions corporelles de 1991 à 1999 pour la Belgique. En Flandres et en Wallonie, les accidents ne sont localisés que sur les routes numérotées. A Bruxelles, des techniques de références linéaire et de 'address matching' ont permis de localiser aussi les accidents sur route non numérotées.

2.1.2 Evaluation de la qualité des données (KUL, UCL, LUC)

L'évaluation de la qualité des données s'est faite à partir de l'analyse de champs vides, des inconsistances et de la fiabilité. Il y a deux causes possibles au champ vide: la valeur du champ est manquante ou perdue ('missing value'), ou le champ n'est pas applicable. Malheureusement, la base de données ne permet pas de faire la distinction. Les inconsistances se produisent lorsque la même information est enregistrée de façon contradictoire dans différents champs. En plus de la précision et de la consistance des données, la fiabilité a été évaluée. L'aspect fiabilité a été discuté avec des experts en la matière. Plusieurs champs se sont avérés peu fiables et n'ont donc pas pu être utilisés pour les analyses.

2.1.3 Evaluation de la pertinence de données (LUC)

Une recherche de la pertinence des données s'est également avérée importante, et a été analysé à l'aide de 'règles d'associations'. Il s'agit d'une technique de data mining ayant pour but de filtrer l'information intéressante d'un grand nombre de données. L'algorithme d'association est utilisée pour chercher un nombre de règles qui décrivent les 'modèles' présents dans les données. Le 'support', ou, le 'poids' de la règle indique le nombre de fois que la règle apparaît dans les données. Plus le poids est élevé, plus la règle est importante. Le 'confidence' ou 'fiabilité' de la règle indique dans quelle mesure la règle est 'réelle', autrement dit, dans quelle mesure le modèle procure une description correcte des données. L'analyse fut effectuée sur les lieux d'accidents à Bruxelles durant la période 1001-1996. Les résultats indiquent que les règles d'associations permettent d'identifier différentes conditions pertinentes par type d'accident. Par exemple:

- Chez les accidents de piétons, les passages pour piétons avec des feux de signalisation et une bonne visibilité sont des aspects importants.
- La distance entre les usagers de la route est un facteur important chez les accidents en parallèle.
- La priorité de droite et le tournant vers la gauche sont des facteurs importants chez les accidents latéraux.

2.2 Analyse d'images satellites à haute résolution à l'aide de techniques de télédétection

2.2.1 Télédétection

Les images satellites à très haute résolution, telles que les images Ikonos de Bruxelles utilisées pour cette recherche, ont une résolution d' 1 x 1 mètre et contiennent une grande quantité de données très détaillées, utiles pour la cartographie et l'interprétation de l'aménagement. L'extraction automatique de données de ces images, telle que de l'infrastructure routière, du trafic et, certainement de la densité de trafic, pose un nombre de problèmes techniques.

Les images satellites à très haute résolution, telles que celles de Ikonos utilisées pour Bruxelles, contiennent beaucoup de détails. Ceci permet de les utiliser pour la cartographie et pour interpréter l'aménagement du territoire. L'extraction automatique d'information particulière (par exemple des caractéristiques de l'infrastructure et du trafic, telle que le volume de trafic) cause un certain nombre de problèmes techniques. Il est, dès lors, presque impossible de d'extraire l'information désirée. Cette piste a donc été abandonnée et remplacée par une classification automatique de l'aménagement du territoire à l'aide d'une technique améliorée et adaptée pour permettre le traitement de grandes quantités d'information spatiale détaillée.

Contrairement aux images à plus basse résolution des générations précédentes, le gros problème en ce qui concerne la classification d'images multi spectrales à haute résolution est, en fin de compte, la grande résolution par laquelle un grand nombre de (petits) objets sont visibles. Une simple classification à partir des pixels produit un résultat illisible (Figure 1). Ce type de cartes est impossible à interpréter. C'est pourquoi cette carte 'land cover' est classifiée une fois de plus, à partir des parcelles ("per-parcel classification"), car une parcelle représente un objet plus significatif. Une autre possibilité est l'identification de l'*utilisation* du sol. Contrairement à l'aménagement, qui est lié aux caractéristiques physiques de la surface de la terre, l'utilisation est une notion socio-économique et la classification en est plus complexe. Cinq classes d'utilisation ont été caractérisée en milieu urbain à partir d'une analyse statistique de l'aménagement du sol par parcelle: tissu urbain dense, bureaux/industrie, résidentiel dense, résidentiel à densité faible, et zone verte. Certaines classes telle que l'infrastructure ferroviaire ne sont pas générées automatiquement, mais manuellement. La deuxième carte (figure 2) montre le résultat.

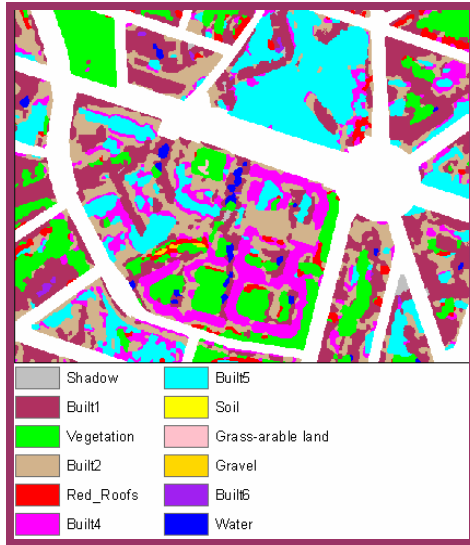


Figure 1: aménagement
(détail du quartier Européen)



Figure 2: aménagement, classification par parcelle
(détail du quartier Européen)

La technique utilisée de "classification par parcelle de l'aménagement" permet donc de généraliser l'énorme quantité d'information d'une image Ikonos, et d'obtenir une carte de l'utilisation du sol. Le seul désavantage est le manque de précision du résultat (75%). Les classes typiquement urbaines (tissu urbain dense et bureaux/industries), sont les plus difficiles à classer.

2.3 Statistiques spatiales

Analyses exploratoires: zones noires bidimensionnelles significatives

Ensuite la recherche s'est penchée sur l'exploration et la modélisation de la distribution des accidents à Bruxelles. D'abord, une analyse exploratoire fut effectuée dans le but de délimiter des zones bidimensionnelles significatives. Ceci se situe dans le prolongement de l'évolution, ces dernières années, de l'analyse de points noirs (black spots) à l'analyse de zones noires, soit linéaires, soit bidimensionnelles. Les zones bidimensionnelles s'appliquent surtout en région urbaine avec des réseaux de routes denses et des flux diffus de transport. Il fallait d'abord affirmer l'existence de zones bidimensionnelles de concentrations d'accidents. Ceci c'est fait à l'aide de cartes basées sur la fonction de Ripley K qui confirmaient l'existence de ces concentrations. Ensuite une technique de groupement spatiale a permis de délimiter les zones de concentration. Cette technique consiste, essentiellement, du calcul des probabilités des accidents observés à partir d'une distribution normale ('Poisson'). Le résultat de ce calcul est une surface de probabilité –un grillage de probabilités– qui permet de délimiter les zones à partir de leur significativité. Finalement, on obtient une carte de zones noires, soit avec l'insécurité absolue, basée sur la fréquence des accidents (figure 3), soit avec l'insécurité relative (figure 4), en tenant compte du risque d'accident. Auquel cas, le calcul du risque d'accident tient compte de l'exposition (exposure), c'est à dire du volume de trafic.

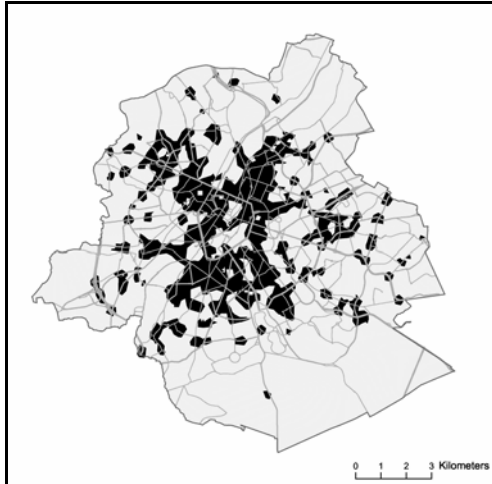


Figure 3: zones noires absolues, tous accidents, (1997-99), bandwidth 250 m

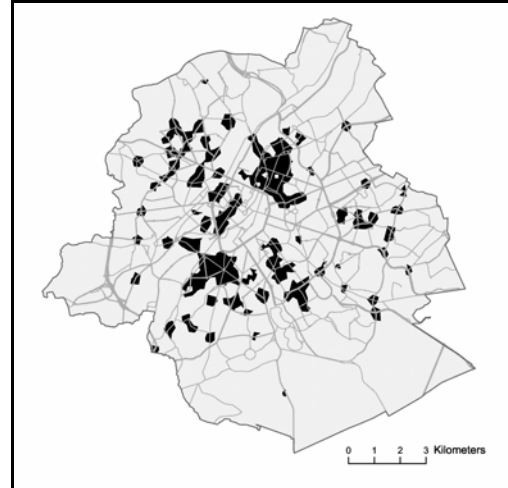


Figure 4: zones à risque noires, tous accidents (1997-99), bandwidth 250 m

Analyses explicatives: régressions spatiales au niveau des quartiers

Un modèle explicatif pour la fréquence des accidents a été mis en place dans le but de mesurer l'influence du quartier (secteur statistique) sur la fréquence des accidents de la route. Contrairement aux modèles courants, il ne s'agissait pas ici de facteurs explicatifs basés sur des caractéristiques de l'infrastructure. Il s'agissait seulement du contexte spatiale en terme du quartier et des caractéristiques socio-économiques et morphologiques, y compris l'exposition (exposure) pour tenir compte de l'importance du volume de trafic. Comme il s'agissait de régression spatiale, un contrôle préliminaire de l'autocorrection spatiale des accidents devait être effectué. Le résultat était affirmatif. Le modèle doit donc tenir compte de l'autocorrelation spatiale des données. Les résultats de la régression spatiale confirment l'importance de volume de trafic pour la fréquence d'accidents. L'introduction de caractéristiques du quartier n'augmente pas la valeur explicative du modèle. La conclusion est que, pour Bruxelles, nous n'avons pas pu déterminer une influence des caractéristiques socio-économiques et morphologiques des quartiers, sur la sécurité routière.

2.4 Groupement (clusters) d'accidents à partir de modèles

Un des objectifs principaux de la recherche menée par le LUC, était de développer une méthode de groupement des accidents. Vu la complexité des interactions entre les causes d'accidents, le choix s'est porté sur une approche non supervisée, à partir d'un vaste cluster de toutes les caractéristiques d'accidents sans hypothèses quand à l'existence de groupes typiques ou de relations entre les causes possibles d'accidents. Le choix s'est porté sur une technique 'model-based' ou 'latent-class'. Ce choix se justifie par la possibilité de ces modèles de grouper des données catégoriques. Les techniques de groupement traditionnelles sont essentiellement basées sur des mesures de distance où de similarité qui ne peuvent être appliquées que sur des données continues. Les calculs sont basés sur les données de 1997 à 1999 de deux régions: le Brabant Wallon et Bruxelles. La localisation en zone noire était ajoutée comme attribut supplémentaire. Au Brabant Wallon le modèle

donnait le meilleur résultat pour 5 clusters, et à Bruxelles pour 7. Au Brabant Wallon il est apparu que la majorité des accidents en zone noire se situent dans deux clusters; ce qui permet de suggérer que l'approche de l'analyse de zones noires pourrait, à l'avenir, s'orienter de préférence sur les accidents de ce type. Il s'agit d'une part de zones sur autoroute avec un seul véhicule et d'autre part d'accidents avec des utilisateurs faibles de la route en agglomération. Contrairement à ce que le nom incite, la majorité des accidents en zone noire ne sont pas associés à la gravité du cluster, c'est à dire la gravité des accidents dans le cluster. En ce qui concerne l'âge il est très important de tenir compte du type d'accident: plus de 60% des jeunes chauffeurs sont impliqués dans des accidents avec un seul utilisateur de la route, tandis que ce n'est le cas que pour 20% des personnes âgées de plus de 65 ans. Dans le cas de Bruxelles les conclusions varient beaucoup, ce qui est normal compte tenu des différences géographiques et démographiques entre les deux régions. Le fait qu'il a fallu 7 clusters suggère une plus grande hétérogénéité des types d'accidents. En outre, un piéton était impliqué dans plus du quart des accidents, ce qui fait que les accidents avec piétons sont le type le plus courant. La politique de sécurité devra donc se consacrer d'avantage à ce problème. Il est d'ailleurs remarquable que les accidents avec piétons aient principalement lieu sur des passages pour piétons avec des feux, où le piéton nie le feu rouge.

Cette analyse souligne le fait que les accidents de la route sont très hétérogènes. En fait, il est indispensable, au préalable de chaque analyse explicative des accidents, d'appliquer une technique de groupement pour approfondir la compréhension de la complexité des données des accidents. Pour découvrir cette hétérogénéité, la technique de 'latent class' c'est avérée très performante.

2.5 Caractérisation des accidents en zone noire au moyen de règles associatives

La dernière partie de la recherche du LUC consistait à appliquer une technique de data mining pour caractériser les zones noires. Ici aussi, la technique de règles associatives a été utilisée à fin d'identifier les facteurs et les circonstances typiques pour les accidents en zone noire. L'analyse s'est basée sur les données de 1997 à 1999 du Brabant Wallon.

Le résultat principal de cette partie de la recherche est la constatation que les accidents en zone noire vont de paire avec certaines règles associatives:

Tourner à gauche aux carrefours avec des feux;

Les conditions pluviales sont importantes, autant dans les zones noires qu'en dehors, mais en zones noires le problème d'aquaplaning est plus important, ce qui pourrait vouloir dire que l'état de l'infrastructure en zone noire est différente;

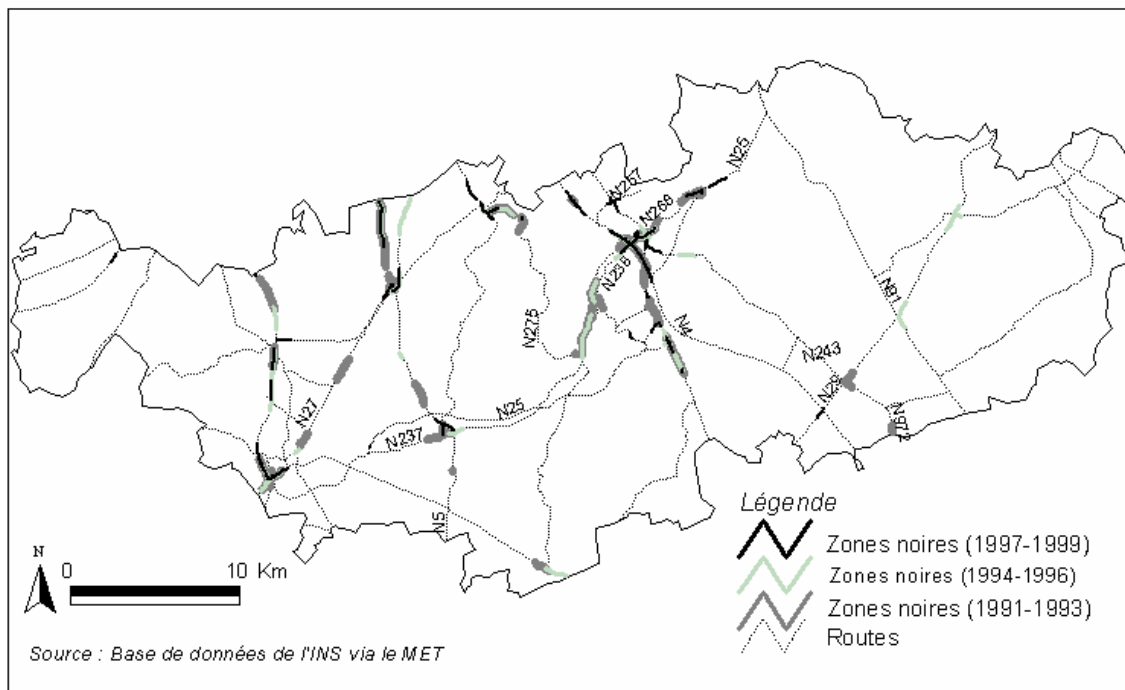
Un accident courant en zone noire est celui avec un jeune piéton en agglomération. Ceci confirme le fait que les accidents avec piétons ont principalement lieu en réseau complexe avec beaucoup de piétons et un trafic dense;

Enfin, on trouve fréquemment l'association de 'perte de contrôle du volant' avec la 'collision avec un obstacle'. Ceci touche à la vitesse inadaptée aux circonstances de la route.

2.6 Répartition spatio-temporelle des accidents de la route en périphérie urbaine. L'exemple de Bruxelles.

L'objectif est ici d'analyser la stabilité de l'occurrence des accidents de la route dans le temps et dans l'espace. Une analyse spatio-temporelle est conduite sur les données relatives au Brabant Wallon (périphérie sud de Bruxelles), pour une période de 9 ans (1991-1999). Les concentrations d'accidents sont déterminées à l'aide d'indices locaux d'autocorrélation spatiale dont l'utilité et la pertinence fut démontrée dans un projet de recherche antérieur.

L'analyse se limite aux accidents sur routes numérotées; la localisation des accidents y est connue à l'hectomètre près. Le Brabant Wallon est une province essentiellement périurbaine et comporte 460,4 Km de routes numérotées. 6905 accidents avec lésions corporelles y ont été recensés entre 1991 et 1999. Sur ces 6905 accidents, 1305 n'ont pu être localisés portant à 5600 le nombre d'accidents utilisables dans notre analyse. Ces 5600 accidents sont concentrés sur 2444 hm de routes soit 53% du réseau routier. 30% du total des accidents étudiés se produisent dans une zone noire, et les zones noires représentent 20% des hectomètres de routes numérotées.



Avant de développer un modèle explicatif (Section 2.7 ci-dessous), il nous apparaît important de vérifier la stabilité des zones noires dans l'espace et dans le temps. S'il s'avère que ces zones sont relativement stables, cela signifie que la structure spatiale est forte et qu'il importe de trouver des facteurs explicatifs de ces concentrations afin d'orienter les aménagements en termes d'infrastructure. Une stabilité spatiale signifie aussi que les résultats du modèle sont indépendants du choix de la période d'analyse. Trois périodes de temps furent choisies : 1991-1993, 1994-1996 et 1997-1999.

La plus petite unité spatiale pour laquelle des données d'accidents sont disponibles en Belgique est l'hectomètre (100m). Pour chaque hectomètre, nous avons donc créé une variable binaire qui prend la valeur 1 quand l'hectomètre appartient à une zone noire, et 0 autrement. Cette variable est calculée pour les trois périodes de temps et les valeurs prises pour ces trois périodes sont comparées sous forme de tableaux de contingence et d'indices de similarité. Ces indices calculent la similarité entre deux périodes : on voit tout de suite apparaître les zones qui sont toujours noires (1-1), jamais (0-0) ou celles qui ne sont noires qu'au cours d'une seule des deux périodes (0-1 et 1-0). Les indices synthétiques conduisent à conclure à une relative stabilité des zones noires, et ce particulièrement sur les grands axes et les autoroutes. L'instabilité caractérise particulièrement les routes secondaires. Globalement, les routes principales dans cette région sont radiales (nord-sud) vers Bruxelles; les routes transversales (est-ouest) sont caractérisées par moins de trafic et donc aussi moins d'accidents.

Les caractéristiques de l'environnement et de l'infrastructure peuvent dès à présent expliquer une partie de la stabilité. Globalement, 40% des zones noires restent toujours au même endroit au cours de deux périodes consécutives. Lorsqu'on essaie de contrôler les effets de l'environnement ou de l'infrastructure ce pourcentage passe à 50 voire à 60 % (sur autoroutes et rings, pour des tronçons à grand volume de trafic (> 17 300 véhicules), sur voie avec berme centrale et trafic > 24 000 véhicules), dans les centres à forte densité population,...).

Ces résultats confirment l'analyse descriptive de la carte. En d'autres termes, nous rejetons l'hypothèse que la localisation des zones noires est aléatoire ou varie fortement dans l'espace et dans le temps.

Les résultats relatifs à cette partie sont parus dans
ECKHARDT N., FLAHAUT B. et THOMAS I. (2004) Spatio-temporalité des accidents de la route en périphérie urbaine. L'exemple de bruxelles. *Recherche Transports et Sécurité*. 82, 35-46

2.7 Emboîtement d'échelles et explication statistique de l'occurrence des accidents en périphérie bruxelloise.

Les données utilisées à la Section 2.6 ont servi de point de départ à la construction d'équations explicatives sur base de modèles multi niveaux (MLM) et les résultats ont été comparés à ceux issus d'une équation logistique simple. L'objectif est ici de tester l'utilité des modèles multi niveaux pour tenir compte de l'emboîtement des échelles spatiales dans l'explication des accidents de la route. Les variables explicatives sont limitées aux caractéristiques de l'infrastructure et de l'environnement; la disponibilité et la nature des données nous contraignent également à nous limiter à deux niveaux d'analyse: l'hectomètre et la commune.

Une synthèse des résultats peut être trouvée dans
ECKHARDT N. et THOMAS I. Spatial nested scales for road accidents in the periphery of Brussels. *IATSS Research* (texte accepté moyennant corrections mineures le 22-10-2004; renvoyé le 17-01-2005).

De l'ensemble des analyses, il appert que:

- 1) Les modèles multi niveaux permettent d'analyser les effets d'emboîtement d'échelle. Si en Brabant Wallon, certaines variables environnementales globales peuvent être invoquées comme a priori explicatives des accidents de la route, les résultats des modélisations conduisent cependant à la conclusion que la commune n'est pas un niveau relevant d'explication. L'accident est mieux expliqué à l'échelle micro géographique (**hectomètre**) que communale.
- 2) En termes de pouvoir explicatif, 5 à 21 % de la variation totale des accidents du Brabant Wallon sont expliqués par l'**infrastructure** et l'**environnement**, confirmant ainsi d'autres résultats obtenus à partir d'autres méthodes. Nous sommes conscients que le modèle est mal spécifié : nous avons isolé les caractéristiques de l'environnement et de l'infrastructure et ignoré les caractéristiques des véhicules, des usagers, leur comportement, la mobilité, ...
- 3) **Trois variables** ont été expliquées (Y) : le fait qu'un hectomètre appartient ou non à une zone noire, le nombre d'accidents par hectomètre et le risque d'accidents défini comme le nombre d'accidents divisé par le trafic moyen en chaque hectomètre. Chaque Y a une signification pour les services d'urgence, les ingénieurs ou les planificateurs ; chaque Y conduit à une combinaison différente de variables explicatives.
- 4) La plupart des variables explicatives entrant significativement dans l'explication sont associées au niveau de l'hectomètre. De nombreuses variables se rapportent aux **changements de conditions de trafic/conduite** posant ainsi le problème de l' (in-) adaptation du comportement des usagers aux changements sur la route (infrastructure, vitesses, conditions de roulage, ...). Elles confirment la littérature scientifique sur le problème.
- 5) Les résultats du modèle multi niveau sont partiellement **comparables** aux résultats d'une régression logistique plus traditionnelle. Cette dernière présente cependant l'avantage de pouvoir inclure une correction d'auto corrélation.

Si l'analyse multi niveau s'est déjà révélée intéressante en analyse **a-spatiale** des accidents de la route, les résultats sont plus mitigés en termes d'analyse spatiale. L'interprétation du rôle des variables mises en évidence corrobore cependant des résultats déjà bien connus dans la littérature scientifique. Nos résultats doivent cependant être interprétés avec prudence : ils ne se réfèrent qu'à un seul milieu d'étude, et ignorent les variables explicatives autres que l'infrastructure et l'environnement.

3. Conclusions générales

Ce projet avait pour but une meilleure compréhension du facteur spatial des accidents de la route, à l'aide d' approches différentes: télédétection, analyse spatiale, data mining et analyse multi niveau

La base de données des accidents contient un grand nombre de données, mais elles sont d'une qualité moyenne et réduisent ainsi les possibilités d'analyse. Le manque de données

sur les vraies circonstances des accidents (tel que la vitesse réelle des véhicules impliqués), est un désavantage supplémentaire.

Les images satellites Ikonos ont permis la classification de l'aménagement au niveau des parcelles. Cette classification permet de coupler les caractéristiques morphologiques des parcelles aux données statistiques parcellaires.

Des concentrations bi-dimensionnelles d'accidents, et donc des quartiers à forte concentration, peuvent être identifiées, en terme absolu et en terme de risque d'accident. Un modèle explicatif de ces concentrations a été développé au moyen de régression spatiale, permettant de prendre en compte des caractéristiques socio-économique des quartiers (secteurs statistiques). Les résultats du modèle confirment le rôle important du volume de trafic sur la fréquence d'accidents mais l'introduction de caractéristiques de quartiers n'augmente pas la valeur explicative du modèle.

Un groupement d'accident à l'aide de modèles (model based clustering) souligne le fait que les accidents de la route sont très hétérogènes. En fait, il est indispensable, au préalable de chaque analyse explicative des accidents, d'appliquer une technique de clustering pour approfondir la compréhension de la complexité des données des accidents. Pour découvrir cette hétérogénéité, la technique de 'latent class' c'est avérée très performante.

Des techniques de règles associatives ont été utilisées pour déterminer l'importance des données, ainsi que pour identifier les facteurs et les circonstances d'accidents typiques pour les zones noires.

L'analyse de la stabilité spatio-temporelle de l'occurrence des accidents de la route dans le temps et dans l'espace est conduite en région périphérique pour une période de 9 ans (1991-1999). Les résultats confirment l'analyse descriptive de la carte. Les grands axes ont une grande influence structurelle spatiale pour les deux dernières périodes (1994-1996 et 1997-1999). Globalement, 40% des zones noires restent toujours au même endroit au cours de deux périodes consécutives. Elles forment un noyau dur de zones noires ou, jusqu'à présent, il a été impossible d'augmenter la sécurité, tant par l'amélioration de l'infrastructure que par la signalisation. Nous rejetons l'hypothèse que la localisation des zones noires est aléatoire ou varie fortement dans l'espace et dans le temps.

Les facteurs explicatifs de l'insécurité routière dépendent fort de l'échelle spatiale de l'analyse. Au lieu de construire un modèle pour les différents niveaux, les interactions par niveau et entre différents niveaux ont été analysées à l'aide d'un modèle multi niveaux. Cette étude démontre l'importance du hectomètre (section de route) comme analyse spatiale de base, et la valeur limitée des modèles multi niveaux pour l'analyse de la sécurité routière. D'autres techniques d'analyse sont peut-être préférable à l'approche multi niveau. Il est vrai que les résultats de l'analyse doivent être interprétés avec prudence vu qu'ils sont basés sur une série de données, et uniquement sur les caractéristiques environnementales et de l'infrastructure comme variables explicatives.