

# Analyse qualitative et modélisation de l'influence des caractéristiques des voiries urbaines et de leur environnement sur les phénomènes d'accidents

## Une première approche

Marine MILLOT  
Thierry BRENAC

Département Mécanismes d'accidents  
Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

### RÉSUMÉ

Une meilleure connaissance des liens entre les phénomènes d'insécurité et les caractéristiques des voiries urbaines et de leur environnement peut aider à éclairer les choix de planification et de conception urbaines. Cependant, les études existantes intègrent peu les caractéristiques des voies dans leur globalité, ou alors combinent de multiples variables de façon quantitative et ne permettent pas de comprendre les processus conduisant à la production d'accidents. Cette recherche vise à établir quelques bases méthodologiques pour les investigations sur la question des liens entre accidents et caractéristiques des voies et de leur environnement, et à apporter des premières réponses. Elle se compose d'une approche qualitative visant à améliorer la compréhension de ces liens et d'une approche plus statistique permettant de quantifier et conforter les résultats qualitatifs, en utilisant des modèles linéaires généralisés.

**MOTS CLÉS :** Sécurité routière - Accident de la circulation - SIG - Ville - Voirie urbaine - Modèles linéaires généralisés.

### Introduction

Différentes formes de voirie et différents contextes urbains génèrent-ils des formes différenciées d'insécurité routière, selon les types d'activités urbaines, d'occupation des sols, les caractéristiques du bâti, la proximité des centres historiques ? D'un point de vue quantitatif, les risques d'accidents sont-ils plus ou moins importants selon les types de voirie ou d'environnement urbain ? Peut-on obtenir, dans le contexte français, des modèles statistiques reliant les nombres d'accidents à des caractéristiques des voies urbaines et de leur environnement ? Des investigations sur ces questions pourraient permettre d'éclairer certains choix de planification urbaine ou de conception de la voirie, concernant leurs conséquences en matière de sécurité routière. Cet article rend compte d'une recherche exploratoire visant à établir des bases méthodologiques pour de telles investigations et à apporter quelques éléments de réponse sur ce sujet, à partir d'une analyse portant sur le réseau de voirie d'une ville d'environ 40 000 habitants. Nous présentons successivement (i) le contexte scientifique et les objectifs de cette recherche, (ii) une analyse qualitative visant à mettre en évidence des liens entre des types de voirie et d'environnement et les processus de déroulement des accidents, puis (iii) une analyse plus quantitative modélisant les relations entre les fréquences d'accident sur des sections de voies urbaines et un ensemble de variables explicatives. Enfin, nous présentons quelques conclusions sur les résultats obtenus et sur les aspects méthodologiques.

## Contexte et objectifs

Nous présentons dans cette partie un rapide état de la littérature scientifique sur ce sujet, puis nous explicitons les objectifs de la présente recherche en les situant dans ce contexte.

Les phénomènes d'insécurité ne sont pas sans lien, bien entendu, avec les caractéristiques des réseaux de voirie et des espaces urbains. Des recherches antérieures ont montré que les accidents en milieu urbain ne sont pas répartis de façon homogène sur les réseaux de voirie : il est connu, par exemple, que la plupart des accidents (50 à 70 % selon les études) se concentrent sur les voies artérielles (SETRA-CETUR, 1992 ; Katz, 1987). La densité urbaine, au sens de la densité de population et de la densité du bâti, semble également jouer un rôle : lorsqu'on se rapproche du centre d'une agglomération, la densité d'accidents augmente, le nombre d'impliqués par accident augmente, les modes légers (piétons, deux-roues) sont plus souvent impliqués, mais la gravité moyenne des accidents diminue (Fleury et al., 1985 ; Levine et al., 1995). Au-delà de ces résultats généraux, certains auteurs ont procédé à des études comparatives de sites pour examiner l'influence de certains choix d'aménagement ou de caractéristiques routières, comme par exemple McLean (1997), concernant les profils en travers sur les voies principales urbaines, Bonneson et McCoy (1997) concernant certains choix d'aménagement centraux, également sur des artères urbaines, ou Gothié (2000) concernant l'effet des qualités de surface de chaussées sur des rocades urbaines. L'effet de certains éléments d'aménagement peut aussi ressortir d'études de type avant-après : par exemple la modification des conditions d'éclairage public sur des voies urbaines a donné lieu à des évolutions de l'insécurité (Ville de Paris, 1991). Nous n'évoquerons pas cependant ici les nombreuses études avant-après portant sur des aménagements ponctuels spécifiques, ou sur des réaménagements globaux innovants (de requalification générale de l'espace public notamment), notre recherche portant davantage sur les caractéristiques générales de la voirie et de son environnement, en restant dans le cadre de la voirie urbaine traditionnelle (par opposition aux conceptions nouvelles telles que celles du programme expérimental « Ville plus sûre, quartiers sans accidents »). Concernant l'effet du type d'environnement urbain, on peut citer les travaux de Engel (1986), qui montrent que les risques d'accident corporel par usager x kilomètre sont supérieurs sur les rues commerçantes, en moyenne pour l'ensemble des types d'usager. Un examen

plus détaillé par catégorie d'usager montre que ce sur-risque touche surtout les piétons et cyclistes, et ne concerne pas les deux-roues motorisés et les véhicules légers. Ces résultats sont en cohérence avec les résultats plus anciens de Chapman (1978). Lawson (1986), dont les investigations portaient sur les voies pénétrantes de Birmingham, trouve, en contrôlant l'effet du volume de trafic et du nombre de chaussées (une ou deux chaussées), que les accidents sur les voies pénétrantes bordées de commerces sont plus fréquents que sur les pénétrantes situées dans un environnement d'habitat, et que les accidents sur ces dernières sont plus fréquents que sur des pénétrantes qui ne sont bordées ni de commerces ni d'habitat. Enfin, la plupart des études citées prennent en compte directement ou indirectement l'effet des volumes de trafic automobile, les nombres d'accidents constatés croissant avec le trafic, quoique de façon non linéaire (sur la complexité des effets du trafic, se reporter à la référence : Brenac et Verne, 2000).

Le plus souvent cependant, les études citées sont des études comparatives qui ne considèrent que les effets d'une variable ou d'un aspect particulier de l'aménagement ou de l'environnement des voies, alors que les éléments influant sur la sécurité sont très nombreux. Il en découle que les conclusions obtenues sont parfois fragiles, les effets d'autres variables importantes, non contrôlées, pouvant fausser les résultats. Les recherches reposant sur des études avant-après, ou sur des modèles statistiques multivariés (Bonneson et McCoy, 1997 ; Lawson, 1986 ; Brenac et Verne, 2000) permettent un meilleur contrôle de l'effet des covariables, et/ou une meilleure appréciation des limites des résultats liées à l'absence de variables influentes dans les modèles obtenus. Les modèles multivariés présentent, en outre, un intérêt particulier pour certains types d'application comme l'aide au diagnostic de sécurité ou à la définition de priorités d'étude ou d'aménagement (Brenac, 1994). Parmi ces recherches, celles de Summersgill et Layfield (1996) prennent en compte un spectre relativement étendu de variables, mais la variable décrivant le type d'environnement urbain reste relativement schématique, comme dans les travaux cités précédemment (Lawson, 1986 ; Engel, 1986).

Concernant les effets du type de voirie et d'environnement urbain sur les aspects qualitatifs de l'insécurité (processus d'accidents, déroulement des accidents, etc.), les recherches sont moins nombreuses. Elles reposent sur des analyses fines des cas d'accidents et des lieux de production de

ces accidents. On peut citer cependant les recherches de Fleury *et al.* (1985), portant sur le cas des petites agglomérations, ou l'étude réalisée sur le département de l'Eure-et-Loir (Fleury *et al.*, 1990), qui comporte quelques conclusions concernant les voies urbaines. On y montre par exemple que dans les rues de desserte, le faible niveau d'attention lié au faible niveau de trafic favorise des accidents avec absence de prise d'information, impliquant des deux-roues légers en intersection, des piétons, des véhicules manœuvrant, ou que dans les rues commerçantes, outre les accidents de piétons traversant, liés à la présence continue d'activités riveraines, des accidents résultent également de la confrontation de deux-roues avec des automobilistes stationnant, faisant demi-tour, ou ouvrant leur portière. Tira *et al.* (1999), dans une recherche portant sur les accidents de piéton sur une ville, ont procédé à une cartographie des accidents après les avoir analysés et affectés à des scénarios types. Les particularités spatiales de la répartition de certains scénarios types apparaissent. Par exemple, les accidents où un piéton, conforté par la présence d'un passage piéton, traverse après un contrôle trop sommaire sur le trafic et se fait heurter par un conducteur le détectant tardivement, se produisent en entrée de ville et en périphérie, plutôt sur des infrastructures assez rapides, mais sont absents du centre ancien, où les passages piétons et les piétons sont pourtant les plus nombreux. Ces recherches, portant sur des terrains d'études spécifiques et restant rares, paraissent de ce fait devoir être renouvelées sur d'autres champs d'analyse pour pouvoir conduire à des conclusions de portée plus générale.

Dans ce contexte, il nous a paru nécessaire de procéder à une recherche en deux temps :

- ① une première étape, **qualitative**, reposant sur des approches monographiques approfondies sur des sections de voie, visant d'une part à contribuer à l'accroissement des connaissances à ce sujet, encore peu nombreuses, et d'autre part à faire apparaître les configurations de voirie et d'environnement dont l'influence paraît déterminante, de façon à les prendre en compte ultérieurement dans une approche plus générale et plus quantitative,
- ② une seconde étape, de **modélisation**, visant à quantifier les liens entre les nombres d'accidents et un ensemble de variables explicatives sur un échantillon de voies plus étendu.

Pour ces deux étapes, le terrain d'étude retenu a été le réseau de voirie de la ville de Salon-de-Provence, pour des raisons de disponibilité des données d'accidents, notamment. Sur la période

de 1989-1995, 915 accidents ont été répertoriés par la réunion de la donnée du fichier BAAC et de celle des procès-verbaux (sachant que 85 procès-verbaux n'apparaissent pas dans le BAAC et inversement 130 accidents du fichier BAAC n'ont pas pu être récupérés sous forme de procès-verbaux). En ce qui concerne la gravité des accidents, nous nous sommes appuyés sur l'analyse des certificats médicaux associés aux procès-verbaux, qui permettent d'avoir une certaine précision et de mieux apprécier les degrés de gravité, plutôt que sur les catégories conventionnelles (blessés légers et blessés graves) du fichier BAAC.

## Analyse qualitative

### Méthode

Une démarche qualitative d'analyse des accidents et de leurs conditions d'occurrence nécessite généralement des investigations approfondies sur les sections de voies et l'étude fine des procès-verbaux de police (ou de documents plus riches comme les enquêtes détaillées d'accident de l'INRETS). Les procès-verbaux contiennent, notamment, les déclarations des impliqués et témoins et un schéma de l'accident et permettent, de ce fait, une compréhension du déroulement de l'accident.

Dans ces conditions, seul un nombre limité de sections de voie a pu être étudié. Afin de choisir des sections susceptibles de recouvrir une certaine diversité des situations, nous avons dû d'abord établir une rapide typologie des voies sur le réseau étudié. Une revue de la littérature sur les catégorisations et hiérarchisations des voies urbaines (que nous ne détaillerons pas ici : *cf.* Millot, 2000) a été effectuée mais a montré que celles-ci prenaient insuffisamment en compte les aspects d'environnement urbain pour pouvoir être utilisées dans notre étude. Nous avons donc été conduits à établir une typologie des voies sur une base empirique. Cette typologie a été construite à partir d'une étude cartographique de la ville, d'éléments sur son développement historique, d'un examen de la répartition spatiale des différentes activités et fonctions urbaines, des données de trafics, et d'une cartographie de l'ensemble des accidents. La typologie obtenue distingue alors plusieurs types de voie : les voies non commerçantes d'entrée de ville ; les voies commerçantes d'entrée de ville ; les pénétrantes plus urbaines, mais où les activités sont encore diffuses ; les pénétrantes plus proches du centre-ville, très urbaines ; les voies principales du centre ancien ;

les voies artérielles de second ordre ; les voies artérielles de périphérie ; les voies de contournement ainsi que des voies de desserte de différents quartiers : quartier d'habitat collectif, pavillonnaire ou mixte, quartier de zones commerciales, ou quartier d'activités mixtes. La cartographie des accidents (915 accidents sur la période 1989-1995) a été effectuée sur le Système d'information géographique de l'INRETS. La fiabilité de leur localisation a été assurée par une saisie manuelle de leur position (« à la souris ») établie à partir du procès-verbal.

Au sein de cette typologie, nous avons choisi de privilégier cinq types de voirie artérielle et une catégorie de voirie de desserte, illustrant bien la diversité des environnements urbains et des positions des voiries au sein du réseau (centre, périphérie, etc.). Nous avons alors étudié de façon approfondie des sections de voies du réseau, représentant au mieux ces types de voie (fig. 1) : analyse fine de cas d'accidents, investigations sur le terrain concernant la voirie et l'environnement urbain.

La méthode d'analyse des cas d'accidents repose sur la confrontation des témoignages, des indices matériels issus du procès-verbal, et d'informations issues de l'observation des lieux et de leur fonctionnement. Elle vise à établir d'abord la suite des événements observables (trajets, positions, manœuvres, etc.) puis les processus fonctionnels qui les expliquent (notamment : « fonctionnements » de l'opérateur humain en matière de prélèvement d'information, de traitement de

l'information, de décision et d'action) et enfin les facteurs explicatifs du déroulement ainsi mis en évidence. Cette méthode est décrite dans Brenac (1997), référence à laquelle nous renvoyons concernant les détails méthodologiques et les justifications théoriques.

## Résultats

Au total, six types de voie ont été analysés (cf. fig. 1 et fig. 2) :

- les voies résidentielles d'entrée de ville (1) ;
- les voies commerçantes d'entrée de ville (2) ;
- les pénétrantes proches du centre-ville, au caractère très urbain (3) ;
- les voies principales du centre ancien (4) ;
- les voies d'un quartier résidentiel (5) ;
- et les voies artérielles de périphérie bordant des quartiers d'habitat collectif (6).

Pour chacun de ces types de voie, nous avons étudié une voie de façon approfondie, concernant le site et les accidents qui s'y sont produits, et pour compléter l'analyse, nous avons étudié de façon plus rapide quelques accidents survenus sur d'autres voies du même type. En moyenne, l'étude a porté sur vingt-quatre accidents par type de voie. Ces six types de voie nous ont permis d'étudier des situations différenciées, concernant, entre autres, la position des voies par rapport au centre, la densité du bâti à proximité de la voie, ou encore le type d'environnement de la voie. Le tableau I donne quelques caractéristiques générales des voies étudiées.

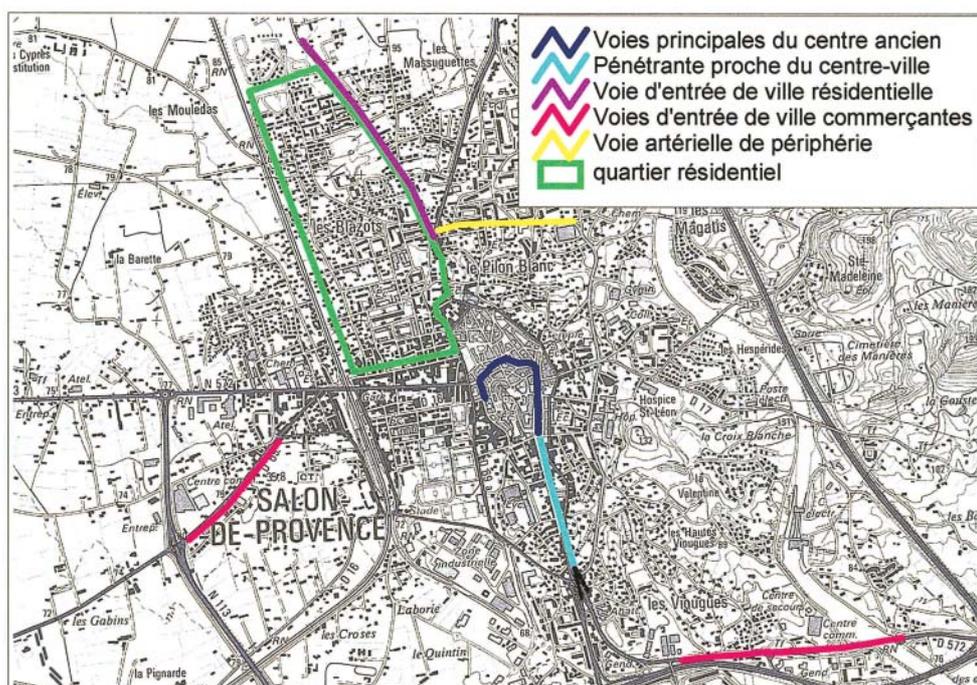


Fig. 1 - Présentation des voies étudiées de façon approfondie.

TABLEAU I  
Quelques caractéristiques des voies étudiées

Voie	Sens	Largeur	Champ de vision	Stationnement	Bâti	Activités
Voie résidentielle d'entrée de ville	double	large	loin	Non	Loin et discontinu	Résidences pavillonnaires
Voie commerçante d'entrée de ville	double	large	loin	Non	Loin et discontinu	Grandes surfaces commerciales
Pénétrante proche du centre-ville	double	large	loin	2 côtés	Proche et continu	Commerces de proximité
Voie principale du centre ancien	unique	étroite	court	1 côté	Proche et continu	Commerces de proximité
Ensemble des voies d'un quartier résidentiel	double	étroite	moyen	Non	Proche et plus ou moins continu	Habitat individuel ou collectif bas
Voie artérielle de périphérie bordant un quartier d'habitat collectif	double	large	loin	1 à 2 côté(s)	1 côté proche, 1 côté loin	Commerces de proximité, Habitat collectif

Sur la base de ces analyses, nous avons cherché à identifier les types d'accidents les plus fréquents (deux à trois) en fonction des types de voie étudiés. Il serait trop long d'exposer ici en détail l'ensemble des résultats (cf. Millot, 2000). Nous présentons, cependant, de façon schématique le type d'accident le plus caractéristique de chaque type de voie (tableau II).

L'analyse fine des cas d'accidents en fonction des types de voie a permis notamment de mettre en

évidence certains déterminants importants de la production d'accidents, de nuancer certains constats de la littérature, en prenant en compte la multiplicité et la relative complexité des influences de la voirie et de l'environnement urbain sur les phénomènes d'accident.

Tout d'abord, les caractéristiques de l'aménagement des voies ont une influence notable. Par exemple, sur deux tronçons de voie pouvant relever du même type (type 3), malgré des conditions

TABLEAU II  
Description du type d'accident le plus fréquent par type de voie étudié

Voie	Usagers impliqués	Manœuvre	Processus
Voie résidentielle d'entrée de ville	Véhicules motorisés	Mouvement de tourne à gauche (parfois à droite) vers un lotissement privé	Le conducteur, en tournant – surprend le véhicule qui suit ou – se déporte à gauche ou s'engage trop vite et heurte un véhicule arrivant en face
Voie commerçante d'entrée de ville	Véhicules motorisés	Mouvement de tourne à gauche ou à droite vers une grande surface	Le véhicule tournant surprend le conducteur qui suit, ce qui entraîne un choc arrière
Pénétrante proche du centre-ville	Véhicules à 2 roues et voitures	Manœuvre de stationnement en traversant la voie de circulation inverse	Le conducteur se précipite et heurte un véhicule (2 roues ou voiture) circulant en sens inverse
Voie principale du centre ancien	Piétons heurtés par un véhicule à 2 roues ou une voiture	Traversée de chaussée, sur ou hors passages piétons, pour le piéton	Hors passages piétons, l'attention du piéton est portée sur ses courses, et il ne voit pas arriver le véhicule
			Sur passages piétons, le bruit visuel peut détourner l'attention des conducteurs
Ensemble des voies d'un quartier résidentiel	Voitures et parfois véhicules à 2 roues	Traversée d'une intersection	Négligence ou non perception des priorités avec signalisation ou non
Voie artérielle de périphérie bordant un quartier d'habitat collectif	Voitures et véhicules à 2 roues	Mouvement de tourne à gauche	Problème de perception des véhicules à 2 roues par les automobilistes

Fig. 2 - Illustration des différents types de voie, par des photographies de sections de voie représentatives chacune d'un type étudié.



1



4



2



5



3



6

d'approche un peu différentes, nous avons trouvé des types d'accidents différents du fait d'un stationnement disposé en épi pour l'un, en parallèle de la voie pour l'autre. Il apparaît, sur la voie bordée de stationnement en épi, un type d'accident concernant des conducteurs qui ont traversé les deux chaussées pour se garer de l'autre côté de la voie et se sont fait heurter par des véhicules arrivant en face. Ce type d'accident ne s'est pas produit sur la voie bordée de stationnement en parallèle. Nous pouvons supposer que, lorsqu'une place est disponible du côté opposé à la voie de circulation du conducteur, un stationnement en

épi semble plus facilement accessible qu'un stationnement en parallèle, nécessitant souvent un créneau. Les conducteurs peuvent donc être davantage incités à entamer la manœuvre et sans toujours bien anticiper l'arrivée d'un véhicule en sens inverse (notamment, si les places libres sont peu nombreuses et si le conducteur est pressé de prendre la place).

Ensuite, outre la distinction classique entre les types d'environnement (résidentiel, commerçant, etc.), les fonctions urbaines de la voie sont importantes pour qualifier les types d'accidents. Engel (1986) et Lawson (1986) concluaient dans leurs

TABLEAU III  
 Comparaison de la gravité des accidents sur deux voies de type différent

Voie	Nombre d'accidents avec blessures superficielles	Nombre d'accidents avec blessures plus graves	Nombre total d'accidents étudiés
Voie résidentielle d'entrée de ville	5	10	15
Voie commerçante d'entrée de ville	11	5	16
<i>NB : L'examen de la gravité s'est appuyé sur l'analyse de certificats médicaux, et non sur les catégories conventionnelles (blessés légers, blessés graves).</i>			

études à la dangerosité des voies commerçantes, en milieu urbain. Sur Salon, nous avons pu constater des nuances à ce propos, en particulier selon la nature des commerces mais aussi la position de la voie dans le réseau. Ainsi sur les voies bordées de grandes surfaces, les accidents sont moins graves car ils concernent surtout des voitures (l'accès à ces commerces se faisant très généralement en voiture). Il faut cependant noter que, dans le cas de Salon-de-Provence, ces grandes surfaces sont en périphérie mais ne sont pas situées le long de larges et rapides routes nationales. Sur les voies bordées de commerces de proximité, au contraire beaucoup de piétons sont impliqués (même les personnes venant en voiture stationnent sur l'espace public et deviennent donc piétons). Ainsi le type de commerces va influencer sur le type de fréquentation et donc le type d'accident. D'autres nuances ont également été observées sur les voies bordées de commerces de proximité selon qu'elles sont situées au centre ou en périphérie. En effet, les accidents sont plus graves en périphérie car la voirie est plus rapide. Au centre, étant donné que les voies sont plus étroites, plus courbes (dans le cas de Salon-de-Provence) et n'assurent pas une bonne profondeur de champ, la gravité est plus faible.

Enfin, la position de la voie par rapport au centre-ville semble aussi intéressante pour caractériser certains types d'accidents. Ainsi, plus on se rapproche du centre et plus la gravité moyenne des accidents diminue, mais plus le nombre de piétons impliqués augmente, les zones du centre étant plus accessibles aux piétons que les zones de périphérie. En ce qui concerne la gravité des accidents, sur les voies d'entrée de ville non commerçantes proches de la rase campagne, les vitesses peuvent être plus élevées qu'au centre, car la distinction rase campagne/ville n'est pas encore bien marquée et les conducteurs ne perçoivent pas toujours qu'ils sont en milieu urbain. De plus en entrée de ville, les voies sont larges, avec une bonne visibilité et permettent de rouler plus vite qu'au centre, où les voies sont courbes et étroites.

Cependant ce résultat, relatif à la position par rapport au centre, est à nuancer selon le type d'environnement de la voie. En effet, sur les voies commerçantes d'entrée de ville (grandes surfaces, concessionnaires, etc.), la gravité est plus faible que sur les voies résidentielles d'entrée de ville (tableau III) (test du  $\chi^2 : p < 0,05$ ). Sur les premières, les accidents concernent essentiellement des voitures, au contraire des voies d'entrée de ville résidentielles dont les accidents touchent quelques piétons, mais aussi et surtout des véhicules à deux roues motorisés, plus vulnérables que des automobilistes. Le niveau de gravité résulte donc d'influences complexes, croisées, et ne se résume pas à un gradient centre-périphérie.

Cette analyse qualitative, effectuée sur Salon-de-Provence, a permis de voir la complexité de la combinaison de différents déterminants des phénomènes d'insécurité routière sur la voirie urbaine : type d'environnement, position et fonction de la voie dans le réseau, morphologie de l'aménagement, etc. Les résultats sont cependant liés au terrain d'étude : la ville de Salon-de-Provence ; cette dernière, bien qu'assez représentative de l'accidentologie des villes de même taille, a des caractéristiques propres. C'est ainsi que les voies commerçantes d'entrée de ville sont peu voire pas résidentielles, et ne sont pas des voies extrêmement larges et rapides contrairement à certaines grosses routes nationales d'entrée de ville, que l'on peut rencontrer sur d'autres agglomérations.

### Modélisation de la fréquence d'accidents en fonction des caractéristiques des voies et de leur environnement

Cette seconde partie de l'étude vise à établir des relations statistiques entre les nombres d'accidents se produisant sur une période donnée sur différentes sections de voie (variable « à expliquer ») et un ensemble de variables « explicatives » relatives aux caractéristiques générales de la voirie et de son environnement urbain.

## Méthode

### Variable à expliquer

Notre étude portant sur les liens entre les phénomènes d'accidents et les caractéristiques générales des voies et de leur environnement, nous avons cherché à établir des modèles de la fréquence des accidents survenus sur des sections courantes de voie et non dans les intersections importantes. Nous avons donc considéré les nombres d'accidents survenus sur des sections de voie, homogènes pour l'ensemble des variables explicatives testées, et délimitées par deux intersections importantes aux caractéristiques très marquées (giratoires, carrefours à feux, etc.). Nous avons conservé sur certaines sections, des petites intersections, qui ne venaient pas modifier le volume du trafic sur la voie étudiée.

Les données d'accidents concernent les accidents corporels survenus entre 1989 et 1995, recensés dans le fichier national des accidents (BAAC), leur localisation et leur classement en ou hors intersection étant cependant vérifiés et corrigés à partir des procès-verbaux de police.

Nous avons ajusté un modèle pour chacune des variables à expliquer suivantes : nombre total d'accidents sur la section (incluant les accidents aux petites intersections), nombre d'accidents situés hors intersection, nombre d'accidents impliquant au moins un piéton, nombre d'accidents impliquant au moins un cycliste, nombre d'accidents impliquant au moins un cyclomoteur, sur la période 1989-1995.

### Variables explicatives

Après une revue de la littérature concernant notamment les études cherchant à relier de manière quantitative les accidents aux caractéristiques des routes et de leur environnement (entre autres : Lawson, 1986 ; Bonneson et McCoy, 1997 ; Mountain et al., 1996 ; Summersgill et Layfield, 1996 ; CERTU, CETE de Lyon, CETE Normandie-centre, 1997 ; Brenac et Verne, 2000) et après les résultats de l'analyse qualitative menée sur les six types de voie différents, nous avons pu identifier une quinzaine de variables explicatives susceptibles d'avoir une influence sur la fréquence des accidents et concernant les caractéristiques générales de la voirie et du tissu urbain environnant, ainsi que le trafic. Nous avons également veillé à ce que ces données soient facilement accessibles, afin que les modèles soient facilement utilisables. Les variables testées étaient : le trafic moyen journalier, la longueur de la section

étudiée, sa largeur, la présence de stationnement aux abords de la voie, la proximité et continuité du bâti aux abords de la voie, la profondeur de champ, la densité urbaine (en particulier au travers de la distinction centre/périphérie), le type d'environnement, la densité de commerces et d'affaires (c'est-à-dire des assurances, des banques, des cabinets de professions libérales, en bref des lieux de service aux particuliers et entreprises, accueillant donc du public), la présence d'un générateur de déplacements (autre que commerces ou affaires, par exemple : une école, un hôpital, etc.), la densité de petites intersections, la présence d'une contre-allée longeant la section étudiée, le nombre de sens de circulation et la position de la section en entrée de ville. On aurait pu envisager d'utiliser la variable relative aux vitesses compte tenu de leur importance dans la production d'accidents, mais nous ne disposions pas de données suffisamment fiables et exhaustives sur l'ensemble de l'échantillon étudié. Par ailleurs, les variables relatives à l'aménagement ou à l'environnement des voies, qui conditionnent les vitesses pratiquées, permettent de rendre compte en grande partie des effets de ces dernières.

### Échantillon

L'échantillon est constitué de quarante-quatre sections de voies du réseau de la ville de Salon-de-Provence. Le choix de ces sections a été conditionné par la disponibilité de la donnée de trafic, ce qui n'a cependant pas cantonné l'étude au réseau principal puisque des mesures de trafic ont été effectuées sur des voiries de desserte (par exemple, suite à des réclamations de riverains). Il est également important de relever que ces sections de voie n'ont pas connu d'aménagement important au cours de la période d'étude (1989-1995) qui aurait pu introduire un biais (pour davantage d'informations sur l'échantillon d'étude, cf. Millot, 2000).

### Méthode de modélisation

Le nombre d'accidents observé  $y$  sur un site routier, sur une période donnée, peut être considéré comme la réalisation d'une variable aléatoire. Ce nombre peut alors s'exprimer comme la somme  $y = \mu + \varepsilon$ , où  $\mu$  est la moyenne de la variable aléatoire, représentative du comportement de long terme du site et de ses qualités de sécurité, et  $\varepsilon$  une composante aléatoire, traduisant les fluctuations aléatoires sur ce site, qui ne peuvent être liées à ses caractéristiques. La modélisation linéaire vise à obtenir une estimation de  $\mu$  sous forme d'une combinaison linéaire de variables explicatives.

Les techniques des modèles linéaires généralisés permettent de s'affranchir du cadre strictement linéaire, et il devient alors possible notamment (au moyen d'une fonction de lien logarithmique) d'estimer  $\mu$  sous forme d'une combinaison multiplicative de variables explicatives :

$$\mu = \text{cst} \times Z_1^{\beta_1} \times Z_2^{\beta_2} \times \dots \times Z_p^{\beta_p}$$

où les  $Z_j$  représentent les variables explicatives, les exposants  $\beta_j$  et la constante *cst* étant des paramètres à ajuster lors de la modélisation. Cette forme multiplicative est celle qui est généralement utilisée dans le domaine de la sécurité routière (des justifications sont présentées dans Oppe, 1979). En outre, les modèles linéaires généralisés sont d'une utilisation plus légitime dans notre cas, car les hypothèses nécessaires à la mise en œuvre de la régression linéaire conventionnelle (moindres carrés) ne sont pas vérifiées, notamment celle concernant l'homogénéité de la variance de la composante aléatoire sur l'ensemble de l'échantillon : en effet, il a été montré que les nombres d'accidents constatés sur une période donnée sur des sites routiers peuvent être considérés comme des réalisations de variables de Poisson (Nicholson et Wong, 1993), pour lesquelles la variance est égale à la moyenne, et diffère donc selon les sites.

Nous n'exposerons pas ici en détail la méthode de modélisation, qui a fait l'objet d'une présentation complète dans un article récent de cette revue (Brenac et Verne, 2000). Les modèles linéaires généralisés, s'appuyant sur la méthode du maximum de vraisemblance, nécessitent de spécifier une distribution (ou du moins une relation variance-moyenne) pour la variable à expliquer. Dans le cas de la modélisation des fréquences d'accidents sur des sites routiers, la distribution de Poisson est *a priori* la mieux adaptée pour les raisons que nous venons d'évoquer. Mais le modèle de Poisson obtenu peut être dans certains cas surdispersé, c'est-à-dire que les différences entre les valeurs observées  $y$  et les estimations des moyennes  $\mu$  données par le modèle excèdent en moyenne ce que l'on peut attendre pour des variables de Poisson. Différentes extensions de ce modèle doivent alors être envisagées, comme les modèles Quasi-Poissonien ou Binomial Négatif.

Les options méthodologiques qui ont été prises sont mentionnées ci-dessous, sans détailler les bases théoriques ni les aspects techniques, pour lesquels nous renvoyons à d'autres publications (McCullagh et Nelder, 1989 ; Maher et Summers-

gill, 1996 ; Allain et Brenac, 1999 ; Brenac et Verne, 2000) :

- ajustement d'un modèle de Poisson avec fonction de lien logarithmique ; en présence de surdispersion, examen des différentes extensions possibles du modèle de Poisson ; c'est dans tous les cas le modèle Quasi-Poissonien qui s'est révélé le mieux adapté (cf. Brenac et Verne, 2000) ;
- sélection des variables par une démarche pas à pas ascendante avec élimination descendante, l'examen de la contribution de chaque variable et de son niveau de signification reposant sur le ratio de déviance moyenne et la statistique de Fisher-Snedecor (au seuil de probabilité de 5 %) ; prise en compte des termes d'interaction selon un principe de hiérarchie (en pratique, aucun terme d'interaction n'a été retenu) ;
- comparaison des valeurs des paramètres avec leurs écarts types ; les paramètres se sont toujours révélés largement supérieurs à leurs écarts types et significativement différents de zéro ;
- calculs des écarts types sur les valeurs prédites au moyen des procédures décrites dans Maher et Summersgill (1996) ;
- examen de la qualité du modèle obtenu au moyen de la réduction de déviance.

## Résultats

Nous avons donc déterminé des modèles pour le nombre total d'accidents (deux modèles ont été définis), le nombre d'accidents hors intersection, le nombre d'accidents impliquant des piétons, le nombre d'accidents impliquant des cyclistes et le nombre d'accidents impliquant des cyclomotoristes.

Sur la quinzaine de variables testées, seulement sept ont été introduites dans les modèles, outre la longueur (*LONG*) de la section de voie étudiée, qui a été imposée pour chaque modèle, et dont le paramètre a été fixé à 1, car le nombre d'accidents peut être considéré comme directement proportionnel à la longueur, toutes choses égales par ailleurs. Ce sont :

- *TRAF* : le trafic moyen journalier sur la voie étudiée ;
- *ENTRÉE-VILLE* : une variable qui détermine la position de la voie en entrée de ville ;
- *DCOAF* : la densité de commerces et d'affaires au kilomètre ;
- *ENVIR* : une variable relative à l'environnement, avec plusieurs classes ;
- *comprox*, relative à la présence dominante de commerces de proximité,

- *gdsurf*, relative à la présence dominante de grandes surfaces commerçantes,
- *autres* : une classe qui regroupe les autres types d'environnement (résidentiel, mixte, ou autre), qui n'étaient pas significativement différents et ne pouvaient donc pas être maintenus séparés ;
- *BATI* : une variable par classe qui concerne le type de bâti, avec les modalités :
- *batiprox*, qui correspond à un bâti longeant la voie,
- *batiloin*, relative à un bâti non diffus, mais pas directement près de la voie,
- *batidiffus*, qui correspond à un bâti diffus ;
- *PSCBATI* : qui vaut 1 quand il y a du bâti dans l'environnement de la voie, vaut 0 s'il est diffus ;
- *STA* : variable qui marque la présence de stationnement aux abords de la voie.

Il est intéressant de noter que certaines variables, qui peuvent influencer fortement sur la production d'accidents, dans la pratique (exemple : générateurs de piétons), ne sont pas intervenues dans les modèles. Ceci peut s'expliquer par leur action très ponctuelle et leur faible fréquence dans l'ensemble de l'échantillon, ce qui fait qu'elles ne ressortent pas du point de vue statistique.

Nous allons présenter ici deux modèles en détail :

- celui relatif au nombre total d'accidents,
- et celui relatif aux accidents de piétons.

Pour les autres modèles, nous ne les détaillerons pas mais ils sont présentés dans Millot (2000).

#### Modèle pour le nombre total d'accidents survenus sur une période de sept ans

La forme logarithmique du modèle, par ordre d'apparition des variables, est :

$$\ln(ACC) = k + a \ln(LONG) + b \ln(TRAF) + c \text{ GDSURF} + d \text{ ENTRÉE-VILLE} + e \ln(DCOAF)$$

avec *ACC*, le nombre total d'accidents sur la section, *GDSURF* constituant une variable artificielle (dummy) prenant la valeur 1 si la voie est bordée de grandes surfaces commerçantes et 0 sinon, de même que *ENTRÉE-VILLE* prenant la valeur 1 si la voie est située en entrée de ville, 0 sinon.

Le modèle de Poisson étant surdispersé (l'estimateur de surdispersion  $\chi^2/(n-p)$  valant 2,53), un modèle Quasi-Poissonien est apparu comme étant le mieux adapté aux données. Les paramètres et écarts types pour ce modèle sont donnés dans le tableau IV. Les paramètres sont toujours supérieurs en valeur absolue à deux fois leur écart type et peuvent être considérés comme significativement différents de 0.

TABLEAU IV  
Valeurs des paramètres du modèle et de leurs écarts types (modèle Quasi-Poissonien pour le nombre total d'accidents sur la section)

Termes du modèle	Coefficient	Écart type
k	k = -12,66	2,0000
a ln(LONG)	a = 1	-
b ln(TRAF)	b = 0,9219	0,2188
c GDSURF	c = -0,9764	0,2928
d ENTREE-VILLE	d = -0,5227	0,2542
e ln(DCOAF)	e = 0,08457	0,0270

Les écarts types sur les valeurs prédites par le modèle (*ACC*) peuvent être calculés selon la méthode décrite dans Maher et Summersgill (1996). Ils sont représentés, en fonction des valeurs prédites, sur la figure 3.

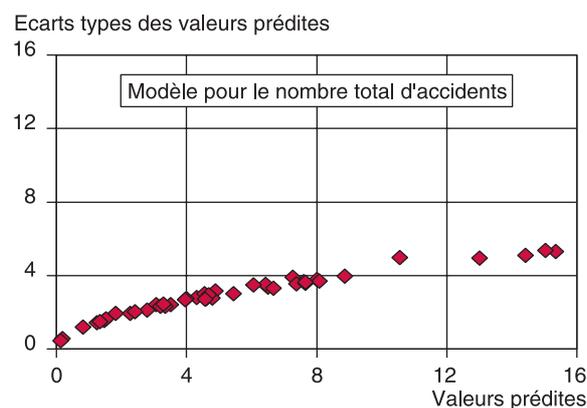


Fig. 3 - Représentation des écarts types des valeurs prédites du modèle Quasi-Poissonien (pour le nombre total d'accidents).

Du point de vue de la réduction de déviance du modèle, le modèle obtenu réduit des 3/4 de ce qui est possible du fait du caractère Poissonien des accidents, ce qui est important (tableau V).

TABLEAU V  
Réduction de déviance du modèle du nombre total d'accidents par rapport au modèle optimal

	Modèle réduit à une constante	Modèle obtenu	Modèle optimal*
Déviance	233,56	97,75	45,36
Réduction		58 %	81 %

\* Meilleur modèle théoriquement possible, c'est-à-dire un modèle qui prendrait en compte tous les éléments expliquant les différences inter-site, ne restant alors que la variation liée aux fluctuations poissonniennes intra-site, non modélisables.

Le modèle obtenu peut s'écrire sous une forme pratique :

$$ACC = e^{-12,66} \times LONG \times TRAF^{0,922} \times DCOAF^{0,085} \times C_{gdsurf} \times C_{entree-ville}$$

avec

- >  $ACC$  = nombre total d'accidents sur une période de sept ans,
- >  $LONG$  : la longueur de la voie en mètre,
- >  $TRAF$  : le trafic moyen journalier sur la voie étudiée (véhicules par jour),
- >  $DCOAF$  : densité de commerces et d'affaires au kilomètre,
- >  $C_{gdsurf} = 0,377$  si la voie est bordée de grandes surfaces commerçantes,  
= 1 sinon
- >  $C_{entree-ville} = 0,593$  si la voie est située en entrée de ville,  
= 1 sinon

Ce modèle, qui vaut pour l'ensemble des accidents (donc y compris les accidents survenus aux petites intersections), présente notamment l'intérêt de ne nécessiter que des données relativement simples à collecter, à la différence de certains modèles antérieurs qui nécessitent des données plus difficiles d'accès, comme les flux de piétons (Summersgill et Layfield, 1996).

Un modèle ne portant que sur les accidents hors intersection a été également ajusté. Il comporte les mêmes variables et approximativement les mêmes valeurs des paramètres, ce qui montre que, dans le modèle précédent, la prise en compte des petites intersections dans l'étude de section courante ne biaise pas les résultats et n'empêche pas de rendre compte des effets des caractéristiques générales de la voie et de son environnement. Ce dernier modèle (hors intersection) est un peu meilleur dans la mesure où il est moins surdispersé (ratio  $\chi^2/(n-p) = 1,849$ ). Mais son ajustement nécessite une plus grande fiabilité des données d'accidents, notamment dans le fichier BAAC concernant la distinction entre les accidents survenus en intersection et ceux hors intersection (qui dans notre étude, a fait l'objet d'une vérification manuelle à partir des procès-verbaux).

**Modèle pour le nombre d'accidents impliquant un piéton**

Le forme logarithmique du modèle obtenu est la suivante, par ordre d'apparition des variables :

$$\ln(ACPI) = k + a \ln(LONG) + b \ln(DCOAF) + c PSCBATI + d GDSURF + e \ln(TRAF)$$

avec  $ACPI$ , le nombre d'accidents de piétons (sur 7 ans) et  $PSCBATI$  valant 1 en présence d'un bâti non diffus dans l'environnement de la voie, 0 s'il est diffus.

Nous pouvons alors remarquer que pour les accidents de piétons, la variable relative au trafic n'est introduite qu'en dernier et celle relative aux commerces et services en premier. La présence de bâti non diffus est également importante, puisqu'elle désigne des zones habitées ou fréquentées par des personnes, par opposition à des zones d'urbanisation diffuse, où la vie urbaine est limitée.

Le modèle de Poisson étant surdispersé ( $\chi^2/(n-p) = 2,175$ ), le modèle retenu est également ici un modèle Quasi-Poissonien. Les valeurs des paramètres et de leurs écarts types sont données dans le tableau VI. Les paramètres apparaissent ici aussi significativement différents de 0.

TABLEAU VI  
Valeurs des paramètres du modèle et de leurs écarts types (modèle Quasi-Poissonien pour le nombre d'accidents de piétons)

Termes du modèle	Coefficient	Écart type
k	k = - 16,61	4,8350
a ln(LONG)	a = 1 (fixé)	-
b ln(DCOAF)	b = 0,1343	0,0484
c PSCBATI	c = 2,1430	0,9059
d GDSURF	d = - 1,836	0,6683
e ln(TRAF)	e = 0,9776	0,5017

La figure 4 montre que les écarts types des valeurs prédites restent nettement inférieurs à ces valeurs, sauf pour les valeurs proches de 0.

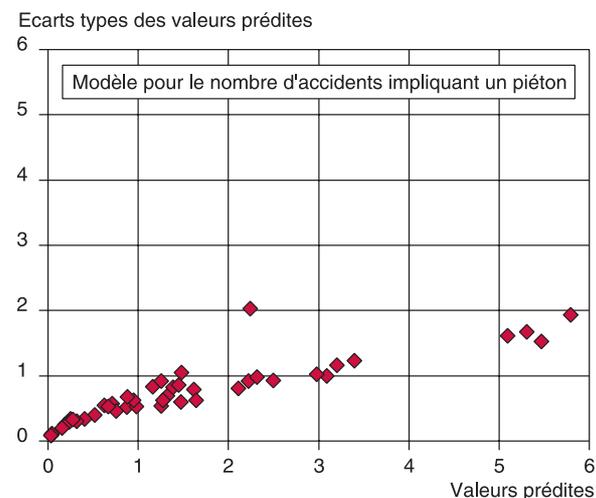


Fig. 4 - Représentation des écarts types des valeurs prédites du modèle Quasi-Poissonien (pour le nombre d'accidents impliquant un piéton).

En ce qui concerne la réduction de déviance, le modèle atteint 70 % de la réduction maximale possible (tableau VII).

TABLEAU VII  
Réduction de déviance du modèle d'accidents de piétons et du modèle optimal associé

	Modèle réduit à une constante	Modèle obtenu	Modèle optimal*
Déviance	157,6	77,1	43,3
Réduction	-	51 %	72 %
* Voir note du tableau V.			

Le modèle obtenu peut être mis sous la forme suivante, plus pratique :

$$ACPI = e^{-16,61} \times LONG \times DCOAF^{0,134} \times TRAF^{0,978} \times C_{pscbat} \times C_{gdsurf}$$

avec

- >  $ACPI$  = le nombre d'accidents piétons sur la période 1989-1995,
- >  $LONG$  = la longueur de la voie étudiée en mètre,
- >  $DCOAF$  = la densité de commerces et d'affaires au kilomètre,
- >  $TRAF$  = le trafic moyen journalier sur la voie étudiée,
- >  $C_{pscbati} = 8,525$  si la voie est dans une zone bordée de bâti non diffus,  
= 1 si le bâti est diffus,
- >  $C_{gdsurf} = 0,159$  si la voie est bordée de grandes surfaces commerciales  
= 1 sinon

Nous pouvons remarquer que pour ce type d'accidents, l'environnement de la voie que ce soit en terme d'activités (commerces, etc.) ou de bâti est important et influent.

### Interprétations

Chaque modèle contient la variable relative à la longueur, ce qui nous permet de comparer les nombres d'accidents obtenus pour des sections de longueurs diverses, ainsi que le trafic qui joue un rôle central (plus il y a de trafic, plus il y a d'usagers exposés aux collisions). Les autres variables interviennent dans un sens « accidentogène », c'est-à-dire augmentent le nombre d'accidents, ou « sécuritaire », lorsqu'elles le réduisent.

Ainsi plus la densité de commerces et d'affaires est forte, plus le nombre total d'accidents sera élevé (de manière non proportionnelle cependant)

et cette influence étant encore plus marquée pour le nombre d'accidents piétons. En fait cette densité reflète l'importance des déplacements et de la présence d'usagers sur la voie, en particulier des piétons, puisque pour chaque déplacement vers ces lieux d'accueil du public, tous les usagers, y compris les automobilistes deviennent piétons (rares sont les places de stationnement juste devant les magasins). Et le nombre de piétons exposés augmente donc en fonction de cette densité de commerces et d'affaires.

Ensuite, apparaît une distinction dans l'effet sur les nombres d'accidents suivant les types de commerces qui dominent aux abords de la voie. Ceci confirme l'un des résultats de l'analyse qualitative. En effet la présence de grandes surfaces détermine des voies où les nombres d'accidents totaux, de piétons et de cyclomotoristes sont moins importants. Il faut alors remarquer, qu'à Salon-de-Provence, les voies bordées de grandes surfaces sont peu ou pas résidentielles (sur la période 1989-1995), il y a donc peu de conflits d'usages et peu de conflits entre automobilistes et piétons ou deux-roues légers (l'accès à ces grandes surfaces se faisant très généralement en voiture). De plus, ces voies bordées de grandes surfaces, quand elles sont en entrée de ville ne sont pas, dans le cas de Salon-de-Provence, de très larges et rapides pénétrantes contrairement à certaines voies d'entrée de ville d'autres agglomérations. Enfin il n'y a pas de stationnement aux abords de ces voies, puisque les grandes surfaces ont généralement leur propre parking, ce qui diminue encore les sources de conflit entre véhicules et piétons.

De plus, la position de la voie en entrée de ville (*ENTRÉE-VILLE*) détermine des voies au nombre total d'accidents moins élevé. Il faut alors nuancer ce résultat puisque nous avons montré que ces accidents sont plus graves qu'en centre-ville (cf. « Analyse qualitative »). Cependant du point de vue du nombre d'accidents, nous pouvons noter qu'en entrée de ville, la voirie traverse un tissu urbain moins dense, générant moins de déplacements et moins de conflits avec le trafic automobile empruntant l'axe, comparativement à une voirie de centre-ville.

Ensuite viennent les variables relatives à la présence et au type de bâti aux abords de la voie (*BATI, PSCBATTI*) dont l'influence est en cohérence avec l'un des résultats de la littérature (cf. « Contexte et objectifs ») selon lequel plus on s'approche des milieux urbains denses, plus il y a d'accidents. Ceci peut s'expliquer par l'augmentation des nombres d'usagers, de déplacements et d'usages à l'approche d'un centre urbain dense.

Enfin, la variable relative au stationnement n'est apparue que pour le modèle (non présenté ici, cf. Millot, 2000) concernant les accidents de cyclistes, dans un sens accidentogène. Cela semble cohérent avec des résultats antérieurs (Fleury et al., 1990), qui mettaient en évidence le lien entre les manœuvres des automobilistes relatives au stationnement et les accidents de deux-roues.

Cette deuxième analyse a donc permis de confirmer et de mesurer l'influence de diverses variables, relatives notamment à l'environnement des voies et à leur situation. Elle a confirmé notamment la nécessité de détailler le type d'environnement de la voie (les voies bordées de grandes surfaces semblent plus 'sécuritaires' que celles avec des commerces de proximité car elles n'attirent pas les mêmes catégories d'usagers), la densité urbaine (plus le tissu urbain est dense, plus il y a d'accidents), la position par rapport au centre (en entrée de ville, les accidents sont moins fréquents qu'au centre, mais ils sont en moyenne plus graves). Nous avons pu voir aussi l'importance de la densité d'affaires, qui si elles sont moins visibles que les commerces génèrent aussi des déplacements. Ces résultats restent cependant liés pour partie aux spécificités du réseau de la ville étudiée (concernant par exemple les caractéristiques des voies commerçantes d'entrée de ville).

## Conclusion

Cette étude nous a donc permis de voir les effets de différents contextes urbains sur les problèmes de sécurité routière.

■ **L'analyse qualitative** a ainsi mis en lumière l'importance de considérer non seulement les aménagements des voies, pour traiter des questions de sécurité routière, mais aussi leur environnement, leur position par rapport au centre, la densité de bâti dans leurs abords, le type d'activités riveraines et la combinaison de ces différents aspects. Mais si les résultats sont intéressants, ils restent liés au réseau d'étude, qui a ses spécificités (notamment les voies bordées de grandes surfaces commerçantes, qui sont peu résidentielles, et moins larges et moins roulantes que certaines

voies d'entrée de ville). Par ailleurs, les résultats sont basés sur 6 types de voie. Il serait donc intéressant de poursuivre cette approche sur d'autres voies, aux caractéristiques différentes, et sur d'autres villes pour conforter et enrichir les connaissances concernant les relations entre les caractéristiques des accidents et celles des voies et de leur environnement.

■ En ce qui concerne **la modélisation**, les résultats sont intéressants d'un point de vue explicatif, tout d'abord, dans la mesure où les modèles utilisent des variables explicatives très variées et fortement liées aux contextes urbains. Du point de vue prédictif, les modèles sont de bonne qualité au regard des valeurs prédites et de leurs écarts types, ainsi que de la réduction de déviance. Ils restent surdispensés, ce qui signifie que l'ensemble des variables explicatives utilisées ne permet pas de rendre compte de toute la variabilité inter-sites en ce qui concerne leur niveau de sécurité. La relativement bonne qualité statistique des modèles obtenus a été rendue possible également par la fiabilité des données, un effort particulier ayant été fait concernant le recueil et la validation des informations.

Du point de vue méthodologique, cette recherche a confirmé l'intérêt de l'approche qualitative, qui permet notamment de mettre en évidence les phénomènes et d'accéder à des résultats inaccessibles par d'autres méthodes, et également d'orienter le recueil de données pour l'analyse quantitative et d'en faciliter l'interprétation. Par ailleurs, concernant la modélisation, nous avons montré qu'il était possible au moyen des techniques des modèles linéaires généralisés, d'obtenir des modèles de la fréquence des accidents sur des voies urbaines, de relativement bonne qualité, dans le contexte français (concernant notamment la nature des données). Cela nécessite cependant des efforts particuliers concernant le recueil des données d'accidents (localisation précise à partir des procès-verbaux d'accidents, notamment), et la prise en compte de caractéristiques relativement détaillées de l'environnement des voies (nature et densité des activités riveraines, densité et configuration du bâti, position de la voie dans la ville, etc.).

---

**Remerciements.** *Nous tenons à remercier les services techniques de la ville de Salon-de-Provence, qui nous ont permis notamment d'accéder aux données de trafic nécessaires à cette recherche, ainsi que la police dont les procès-verbaux ont été largement utilisés pour ce travail. Nous remercions également les rapporteurs pour leurs commentaires constructifs.*

- ALLAINE., BRENAC T. (1999), *Modélisation des fréquences d'accidents, sur des sites routiers : panorama des modèles poissonniens généralisés*, Communication à la journée d'étude « De la théorie à la pratique en matière de gestion des risques sur les infrastructures routières de rase campagne » Paris, 14 pages.
- BONNESON J., MCCOY P. (1997), Effect of median treatment on urban arterial safety : an accident prediction model, *Transportation research record*, **1581**, pp. 27-36.
- BRENAC Th. (1994), *Accidents en carrefour sur routes nationales, modélisation du nombre d'accidents prédictibles sur un carrefour et exemples d'applications*, Rapport INRETS, 185, 107 pages.
- BRENAC Th. (1997), *L'analyse séquentielle de l'accident de la route*, Rapport INRETS, 3, 79 pages.
- BRENAC Th., VERNE J.-N. (2000), Niveau d'insécurité routière dans les traversées d'agglomération. Modélisation de l'influence du trafic, de la population et de la longueur de traversée, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, **224**, janvier-février, pp. 13-24.
- CERTU, CETE Lyon, CETE Normandie-centre. (1997), *Catégorisation des voies urbaines et sécurité routière*. Rapport d'étude, 61 pages.
- CHAPMAN R.G. (1978), *Accidents on urban arterial roads*. TRRL Report LR838, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- ENGEL U. (1986), Risk figures for road users in different urban street categories. 5<sup>e</sup> congrès international de l'ATEC, « l'insécurité routière ». *Proceedings*, vol. **3**, pp. 1-19.
- FLEURY D., FONTAINE H., MALATERRE G., PEYTAVIN J.-F. (1985), La sécurité dans les petites agglomérations. *RTS 5*, pp. 11-16.
- FLEURY D., FLINÉ C., PEYTAVIN J.-F. (1990), *Diagnostic de sécurité sur un département, application au cas de l'Eure et Loir*, Rapport INRETS, 125, INRETS, Arcueil, 199 pages.
- GOTHIE M. (2000), Apport à la sécurité routière des caractéristiques de surface de chaussée. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **224**, pp. 5-12.
- KATZ A. (1987), Driver and pedestrian safety in the urban environment, *Prévention routière internationale*, **1**, pp. 22-23.
- LAWSON S.D. (1986), Descriptions and predictions of accidents on urban radial routes. *Traffic engineering and control*, **27(6)**, pp. 310-319.
- LEVINE N., KIM K., NITZ L. (1995), Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes : I. Spatial patterns. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 27, **5**, pp. 663-674.
- MAHER M.J., SUMMERSGILL I. (1996), A Comprehensive Methodology for the Fitting of Predictive Accident Models. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 28, **3**, pp. 281-296.
- MC CULLAGH P., NELDER J.A. (1989), *Generalized linear models*, 2<sup>e</sup> édition, Monographs on statistics and applied probability 37, Chapman et Hall, 511 pages.
- MC LEAN J. (1997), *Review of accidents and urban arterial cross-section treatments*. Research report ARR 309, 18 pages.
- MILLOT M. (2000), *Étude des liens entre insécurité routière, voirie et environnement urbain, approche qualitative et modélisation sur une ville*, Rapport INRETS/RE-00-901-FR, INRETS-MA, Salon-de-Provence, 226 pages.
- MOUNTAIN L., FAWAZ B., JARRETT D. (1996), Accident Prediction Models for Roads with Minor Junctions. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 28, **6**, pp. 695-707.
- NICHOLSON A., WONG Y.-D. (1993), Are accidents Poisson distributed ? A statistical test. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 25, **1**, pp. 91-97.
- OPPE S. (1979), The Use of Multiplicative Models for Analysis of Road Safety Data. *Accident Analysis and Prevention*, vol. **11**, pp. 101-115.
- SETRA, CETUR (1992), *Sécurité des routes et des rues*. Bagneux, 436 pages.
- SUMMERSGILL I., LAYFIELD R.E. (1996), *Non-junction accidents on urban single-carriageway roads*. TRRL Report 183, Transport Research Laboratory, Crowthorne, 65 pages.
- TIRA M., BRENAC Th., MICHEL J.-E. (1999), Insécurité routière et aménagement de la ville, *TEC*, **155**, pp. 22-30.
- Ville de Paris (1991), *Incidences des opérations de rénovation de l'éclairage sur la sécurité routière*, rapport d'étude.

## ABSTRACT

### Qualitative analysis and modelling of the influence of the characteristics of urban roads and their environment on accidents: a first attempt.

M. MILLOT, Th. BRENAC

A better understanding of the links between road traffic hazard phenomena and the characteristics of urban roads and their environment can assist the urban planning and design decision-making process. However, existing studies either take little account of the overall characteristics of roads or combine a large number of variables in a quantitative manner and do not provide a means of understanding the accident production process. The research described in this paper attempts to establish some methodological foundations for an investigation of the links between accidents and the characteristics of roads and their environment and to provide some initial answers. It consists of a qualitative approach which aims to improve our understanding of these links and a more statistical approach which uses generalised linear models to quantify and confirm the qualitative results.