

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Mascara

Mustapha Stambouli



Faculté des sciences de la nature et de la vie

Thèse

**Pour obtenir le Diplôme de
Doctorat en Sciences**

Spécialité: Sciences de la Terre et de l'Univers

Titre

**L'impact de l'environnement routier
sur la sécurité routière durable**

Présentée par:

DRISS Miloud

Soutenue le

,

devant le Jury:

Pr. MEDDAH-TIR-TOUIL Aicha,

Université de Mascara, Algérie

Présidente-Jury

Pr. BENABDELLI Khéloufi,

Université de Mascara, Algérie

Directeur de thèse

Pr. SAINT-GERAND Thierry,

Université de Caen, France

Co-directeur de thèse

Pr. HIMOURI Slimane,

Université de Mostaganem, Algérie

Examineur

Pr. MILOUDI Ali,

Université de Mascara, Algérie

Examineur

Pr. FLEURY Dominique,

Directeur de recherche émérite (IFSTTAR), France

Examineur

Résumé

La croissance très importante qu'on observe de façon générale dans le transport routier, et la circulation routière en général, aboutit à des graves pertes humaines et économiques causées par les accidents. L'étude concerne l'Algérie où plus de 4000 personnes sont tuées chaque année sur les routes. Ce chiffre correspond à un risque parmi les plus élevés du monde. Ce constat nécessite une attention considérable en matière de politiques de sécurité civile, et appelle une identification précise et rigoureuse des secteurs prioritaires d'action publique.

Cette thèse, en première étape, propose un modèle de prédiction qui permet d'identifier et localiser des degrés d'exposition aux risques d'accidents, et d'analyser à ce niveau la complexité des facteurs mis en cause. L'étude concentre sur les contributions possibles d'une série de critères locaux observés, à caractère environnemental (au sens « environnement de voirie ») et spatial qui peuvent avoir une influence sur la localisation des zones à risque d'accident de la route (zones noires). L'étude a été menée sur le réseau routier national en zone rurale de la Wilaya de Mascara dans la région nord-ouest d'Algérie. Cet espace est considéré comme espace de transit du fait de son emplacement privilégié dans la mesure où il est traversé par les principaux axes routiers. Par conséquent, des simulations sont conduites sous le logiciel Matlab/Simulink dans la boîte à outils logique floue, le système d'évaluation des critères observés met œuvre une série de règles logiques floues en utilisant plusieurs fonctions d'appartenance. Le système d'évaluation à la capacité d'adaptation et d'apprentissage automatique, et présente un apport très important comme système de traitement des risques d'accidents contribuant à terme à améliorer le niveau de sécurité sur les routes. Un système d'information géographique (SIG) est intégré dans le processus d'analyse, dans l'idée d'une visualisation spatiale des degrés d'exposition aux risques d'accidents, et la perspective d'étayer cartographiquement une solution mesurable pour l'atténuation du risque d'accident.

En deuxième étape, la thèse traite l'un des problèmes les plus importants attribués à l'analyse de l'espace urbain d'un réseau routier de la ville de Mohammadia dans la wilaya de Mascara. À partir de ses caractéristiques physiques (quantitatives et qualitatives) obtenues à partir des observations sur ces différents segments routiers importants. Un SIG a été développé qui permet d'analyser et de mesurer clairement l'évolution de la congestion du réseau. Par ailleurs, l'utilisation de l'extension Network Analyst dans l'environnement ArcGIS 10.1 a en mesure d'expliquer le niveau de circulation sur certains segments routiers, selon leurs caractéristiques, par différents scénarios proposés en fonction de plusieurs impédances.

Les résultats montrent que les deux systèmes développés peuvent être utilisés, au plan opérationnel de la Sécurité Routière, comme des outils efficaces pour l'identification des facteurs de danger liés aux caractéristiques de la voirie, dont il est donc important d'avantage d'optimiser la fluidité de la circulation et d'améliorer le comportement des conducteurs en termes de sécurité, ce qui serait bénéfique à réduire le nombre et la gravité des accidents de la route.

Finalement, cette thèse propose une meilleure compréhension des mécanismes des accidents de la route se produisant sur le réseau routier algérien rural ou urbain, et le développement de méthodes et outils permettant aux acteurs de disposer d'une connaissance plus circonstanciée des processus d'accidents de la route et des mesures possibles pour leurs préventions.

Mots-clés: degrés d'exposition, accidents de la route, sécurité routière, zone rurale, zone urbaine, logique floue, SIG.

Abstract

The growth very important that we observe generally in road transport and road traffic, leads to serious human and economic losses caused by accidents. The study focused on Algeria where over 4000 people are killed every year on the roads. This number corresponds to the risk among the highest in the world. This finding requires considerable attention on civil security policies and calls for a precise and rigorous identification of priority areas of public action.

This thesis, in the first step, proposes a predictive model to identify and locate the degrees of exposure to the risk of accidents, and analyze at this level the complexity of factors involved. The study focuses on the possible contributions of a series of local criteria observed, environmental (in the sense "road environment") and space that can affect the location of zones at risk of road accidents (black zones). The study was conducted on the national road network in rural areas of the Wilaya of Mascara in the northwestern region of Algeria. This space is considered transit space because of its location since it is crossed by the main roads. Therefore, simulations are conducted under the software Matlab / Simulink in the fuzzy logic tools box, the evaluation system of the observed criteria sets implemented a series of fuzzy logic rules using multiple membership functions. The evaluation system for capacity to adapt and automatic learning has a very important contribution as accident risk processing system ultimately contributing to improving the level of safety on the roads.

In the second step, the thesis deals one of the most important problems attributed to the analysis of urban space of a road network of the city of Mohammadia in the wilaya of Mascara. From its physical characteristics (quantitative and qualitative) obtained from observations on these various important road segments. A GIS was developed that can analyze and clearly measure the evolution of network congestion. Furthermore, the use of Network Analyst extension in ArcGIS 10.1 environment is able to explain the level of traffic on certain road segments according to their characteristics, different scenarios offered depending on several impedances.

The results show that both developed systems can be used operationally for Road Safety, as effective tools for identifying hazard factors related to the characteristics of the road, which it is important to optimize advantage the flow of traffic and to improve the behavior of drivers in terms of security, which would be beneficial to reduce the number and severity of road accidents.

Finally, this thesis proposes a better understanding of the mechanisms of road accidents occurring on the rural or urban Algerian road network, and the development of methods and tools for actors to have a more detailed knowledge of the process of accidents road and possible measures for their prevention.

Keywords: exposure degrees, road accidents, road safety, rural zones, urban zones, fuzzy logic, GIS.

DEDICACE

A la mémoire de mes chers grands parents que dieu les gardes dans son vaste paradis.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes chers parents pour leurs prières, leurs patiences et leurs encouragements tout au long de mon existence, je n'aurais probablement pas atteint la fin de cet engagement.

Je dédie cette thèse à mon fils Youcef et ma femme. Il ne fait aucun doute, sans leur étincelle, je ne pourrais pas avoir complété mes travaux de thèse. Ils ont été une source d'approvisionnement irremplaçable.

Je voudrais également dédie les résultats de mes recherches à mes frères et sœurs qui ont fourni l'inspiration et de soutien.

Je dédie aussi ce travail à tous mes beaux membres de la famille qui ont été un support constant de motivation.

REMERCIEMENTS

Je voudrais profiter de cette opportunité pour remercier tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de cette thèse.

Remercions en premier lieu, Dieu tout puissant de m'avoir permis de mener à bien et d'achever ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes encadreurs, le Professeur Khéloufi BENABDELLI et le Professeur Thierry SAINT-GERAND, pour leur soutien continu, l'inquiétude et de l'orientation tout au long de cette thèse. Ce fut un grand plaisir de travailler avec eux et j'ai beaucoup appris d'eux, tant en termes de recherche et de qualités humaines;

Je tiens à remercier la présidente du jury, le Professeur Aicha MEDDAH-TIR-TOUIL, pour de présider le jury de cette thèse et apporter un regard exogène pour la discussion;

Je tiens également à remercier les membres du jury, le Professeur Slimane HIMOURI, le Professeur émérite Dominique FLEURY et le Professeur Ali MILOUDI pour avoir accepté de lire et de discuter cette thèse;

Je suis également très reconnaissant à mes collègues enseignants chercheurs de l'intérêt qu'ils ont accordé à mes travaux de recherche, en particulier messieurs Mohamed Amine HAMADOUCHE et Nouredine DELLA, enseignants chercheurs à l'université de Mascara, pour les nombreuses discussions scientifiques que nous avons eu au cours de ma thèse, et qui ont souvent contribué à faire avancer ce travail;

J'adresse mes vifs remerciements au Professeur émérite Marc GAUDRYG, Université de Montréal, et au Professeur émérite en retraite Kouider BRAHIMI, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO), qui se sont toujours portés volontaires pour m'orienter et m'encourager de mes travaux de thèse;

Mes remerciements particuliers s'adressent au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique qui a financé mon séjour de 18 mois dans le cadre d'une formation résidentielle à l'étranger au sein du laboratoire d'accueil à l'université de Caen Base Normandie ;

Je voudrais remercier aussi de nombreuses autres personnes qui ont contribué à ce travail et je ne peux les citer ;

Enfin, un remerciement très spécial est porté à la gendarmerie nationale, la sûreté nationale et la direction des travaux publics pour les données fournies à l'égard de mes recherches.

Table des Matières

Résumé

Abstract

Remerciements

Dédicace

Abréviations et Notations

Listes des figures

Listes des tableaux

Chapitre 01 : Introduction générale

1.1	Contexte global	1
1.2	Situation de la sécurité routière dans le monde.....	1
1.3	Situation de la sécurité routière en Algérie.....	3
1.4	Buts et objectifs de la recherche.....	5
1.5	Structure de la thèse.....	6

Chapitre 02 : Etat de l'art : La modélisation du risque routier

2.1	Introduction.....	8
2.2	La modélisation du risque routier	8
2.2.1	Les approches primaires.....	9
2.2.1.1.	Fréquences observées.....	9
2.2.1.2.	Exposition aux risques	9
2.2.1.3.	Pondération en fonction de la gravité	10
2.2.2	Approches probabilistes	10
2.2.3	Approche logique floue.....	14
2.2.3.1.	Système d'Inférence Flou.....	15
2.2.3.1.1.	Fuzzification.....	15
2.2.3.1.2.	Règles d'inférence floue.....	16
2.2.3.1.3.	Défuzzification.....	18
2.2.4	Analyse exploratoire des données spatiales.....	19
2.2.4.1.	Indicateurs globaux de l'association spatiale.....	19
2.2.4.1.1.	L'indicateur global de Getis-Ord G (d)	19
2.2.4.1.2.	L'indicateur global de Moran I (d)	21
2.2.4.2.	Indicateurs Locaux de l'Association Spatial (LISA)	22
2.2.4.2.1.	L'indice d'auto-corrélation spatiale locale Getis-Ord $G_i^*(d)$	23
2.2.4.2.2.	L'indice d'autocorrélation spatiale locale de Moran $I_i(d)$	24
2.2.4.3.	L'estimation de la densité du noyau (KDE)	25
2.2.5	Les mesures et les indicateurs de la congestion routière urbaine.....	27
2.2.5.1.	Les mesures basées sur le temps.....	32
2.2.5.2.	Les mesures basées sur les débits.....	32
2.2.5.3.	Les indices de la congestion.....	32
2.2.5.4.	Les mesures de retard.....	33
2.2.5.5.	Les facteurs physiques liés à la congestion routière.....	34
2.2.5.5.1.	Le risque d'embouteillages (FK)	35

2.2.5.6.	Système d'analyse d'un réseau urbain.....	35
2.2.5.6.1.	La terminologie du réseau urbain.....	38
2.3	Conclusion.....	40

Chapitre 03 : Construction du modèle logique flou : Prédire le degré d'exposition au risque d'accidents

3.1	Introduction.....	41
3.2	Matériel et Méthodes.....	43
3.2.1	Zone d'étude et données	43
3.2.2	L'application et les résultats du modèle flou.....	43
3.3	Conclusion et Perspectives.....	52

Chapitre 04 : Contribution d'un SIG à une meilleure gestion d'un réseau routier urbain

4.1	Introduction.....	55
4.2	Description de la zone d'étude.....	57
4.3	Matériaux et Méthodes.....	59
4.3.1.	Sources de données.....	59
4.3.2.	La conception du réseau.....	59
4.3.3.	Création du jeu de données réseau.....	60
4.4	Résultats et Discussions.....	61
4.4.1.	Trouver le meilleur itinéraire vis-à-vis la distance.....	61
4.4.2.	Trouver le meilleur itinéraire vis-à-vis le temps.....	62
4.4.3.	Trouver le meilleur itinéraire vis-à-vis des obstacles (exemple : Travaux).....	63
4.4.4.	Trouver le meilleur itinéraire vis-à-vis des obstacles (zone à vitesse limitée)..	64
4.4.5.	Trouver le meilleur itinéraire vers une source d'eau (cas d'incendie).....	65
4.5	Conclusion.....	69

Chapitre 05 : Conclusions et recommandations..... 70

Références Bibliographiques

Abréviations et Notations

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

PNB: Produit National Brut

WHO: World Health Organization

CNPSR: Centre National de la Prévention et de la Sécurité Routière

UNI : Union Nationale des Investisseurs

SIF: Systèmes Inférences Flous

LISA : Indicateurs Locaux de l'Association Spatial

SIG : Système d'Information Géographique

USB : Unités Spatiales de Base

KDE : Kernel Density Estimation

LRM : Référencement du Modèle Linéaire

VMT : Vehicle Miles Traveled

RCI : Roadway Congestion Index

TRB :Transportation Research Board

HCM : Highway Capacity Manual

FK: Risque d'Embouteillages

UNA : Urban Network Analysis

SANET : A Toolbox for Spatial Analysis on a Network

ZAT: Zones d'Analyse de Trafic

VP : Véhicules Particuliers

VUL: Véhicules Utilitaires Légers

AMC : Analyse Multicritères

ICR : Indice de la Congestion Routière

ANOVA : Analyse de Variance

GPS : Système de Positionnement Global

SIG-T : Système d'Information Géographique-Transport

Liste des figures

Chapitre 01 : Introduction générale

Figure 1.1 : Objectif de la Décennie d'action pour la sécurité routière 2011-2020 (WHO, 2013)

Figure 1.2 : Projection de tués dans le monde pour certaines causes, 2004-2030 (WHO, 2004)

Figure 1.3: Evolution annuelle des tués et du parc national automobile

Figure 1.4 : Mortalité routière pour 100 000 habitants / 10 000 véhicules en 2010 (Driss et al, 2014)

Chapitre 02 : Etat de l'art : La modélisation du risque routier

Figure 2.1 : Schéma de principe d'un système d'inférence floue (Selvi, 2009)

Figure 2.2: Diagramme fondamental : les relations entre la vitesse, la densité et le débit décrit par FHWA (2003) (Kalboussi, 2010).

Figure 2.3 : Facteurs niveaux macro et micro affectant la congestion

Figure 2.4. Gauche: Plan d'Harvard Square à Cambridge, MA.

Droite: représentation graphique du même dessin en plan

Figure 2.5. L'interface utilisateur graphique de la boîte à outils UNA

Chapitre 03 : Construction du modèle logique flou : Prédire le degré d'exposition au risque d'accidents

Figure 3.1 : Situation de la zone d'étude

Figure 3.3 : Structure du Système d'Inférence Floue

Figure 3.4 : La distribution spatiale des degrés d'exposition au risque d'accidents de la route

Figure 3.5 : La distribution spatiale des accidents de la route observés

Figure 3.6 : Le cycle d'évaluation des risques routier

Chapitre 04 : Contribution d'un SIG à une meilleure gestion d'un réseau routier urbain

Figure 4.1. Situation géographique de la ville de Mohammadia

Figure 4.2. Informations nécessaires pour la création du jeu de données réseau

Figure 4.3: Trouver le meilleur itinéraire en utilisant la distance comme impédance

Figure 4.4. Trouver le meilleur itinéraire en utilisant le temps comme impédance

Figure 4.5. Trouver le meilleur itinéraire en fonction du temps en présence de (s) barrière (s)

Figure 4.6. Trouver le meilleur itinéraire en évitant une zone déterminée.

Figure 4.7. Etapes préparatoires pour l'utilisation de l'option *Closet Facility*.

Figure 4.8. Les sources d'eau avec le lieu virtuel de l'incendie.

Figure 4.9. Le plus court chemin pour atteindre la plus proche fontaine.

Figure 4.10. Le plus court chemin pour atteindre la plus proche fontaine avec la présence d'obstacle.

Liste des tableaux

Chapitre 03 : Construction du modèle logique flou : Prédire le degré d'exposition au risque d'accidents

Tableau 3.1 : Description des critères des accidents de la route

Tableau 3.2 : Exemples de sélection des règles

Chapitre 1 :
Introduction Générale

1.1 Contexte global

La thèse porte sur l'aspect de l'ingénierie des infrastructures routières: elle examine l'influence de l'infrastructure sur la (in)sécurité routière avec une perspective de développement durable. Cette thématique est reconnue très importante et pertinente pour intégrer des recherches sur le transport durable : il s'agit d'un objectif important dans la planification des transports afin de déterminer l'ensemble des impacts liés au développement durable. L'objectif est d'identifier l'impact des caractéristiques des routes et leurs environnements sur la (in)sécurité routière. Le thème général de cette recherche, plus précisément, porte sur la modélisation des relations significatives entre la sécurité routière et l'infrastructure routière et son environnement.

1.2 Situation de la sécurité routière dans le monde

La sécurité routière est devenue une préoccupation prioritaire dans de nombreux pays. Les accidents de la route imposent d'immenses coûts sociaux, soit des effets néfastes sur l'activité économique et la qualité de vie. Dans son rapport de situation sur la sécurité routière (WHO, 2013), l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) indique que, dans le monde entier, le nombre total de tués dus aux accidents de la route reste trop élevé à 1,24 millions par an, une moyenne de 3480 personnes meurent par jour dans le monde à cause des activités liés à la motorisation et de 20 à 50 millions sont blessées. Ces tués et blessés ont un impact incommensurable sur les familles touchées, dont la vie est souvent changée de façon irrévocable par ces tragédies, et sur les communautés dans lesquelles ces gens vivaient et travaillaient. Généralement, les accidents de la route sont en augmentation, notamment dans les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire, où les taux sont deux fois plus élevés que dans les pays à revenu élevé. Cela est en partie attribuable à la rapidité de la motorisation dans de nombreux pays en voie développement qui a eu lieu sans un investissement comparable dans les stratégies de sécurité routière. En effet, les accidents de la route sont estimés aux pays à faible coût et à revenu intermédiaire entre 1-2% de leur Produit National Brut (PNB), estimés à plus de 100 milliards de dollars par an (WHO, 2004), et il peut même atteindre jusqu'à 2,5% (Elvik, 2000)

Par conséquent, l'OMS concentre son attention sur l'insécurité routière qui pose un problème croissant de santé publique dans le monde entier. Ainsi, l'Organisation des Nations Unies a déclaré que la violence routière est un sujet de grande préoccupation. En 2010, l'Assemblée Générale des Nations Unies a adopté une résolution qui a proclamé la Décennie d'action pour la sécurité routière (WHO, 2013). L'objectif de la Décennie (2011-2020) est de stabiliser et de réduire la tendance à la hausse du nombre de tués de la route, et de sauver environ 5 millions de vies au cours de la période (figure 1.1).

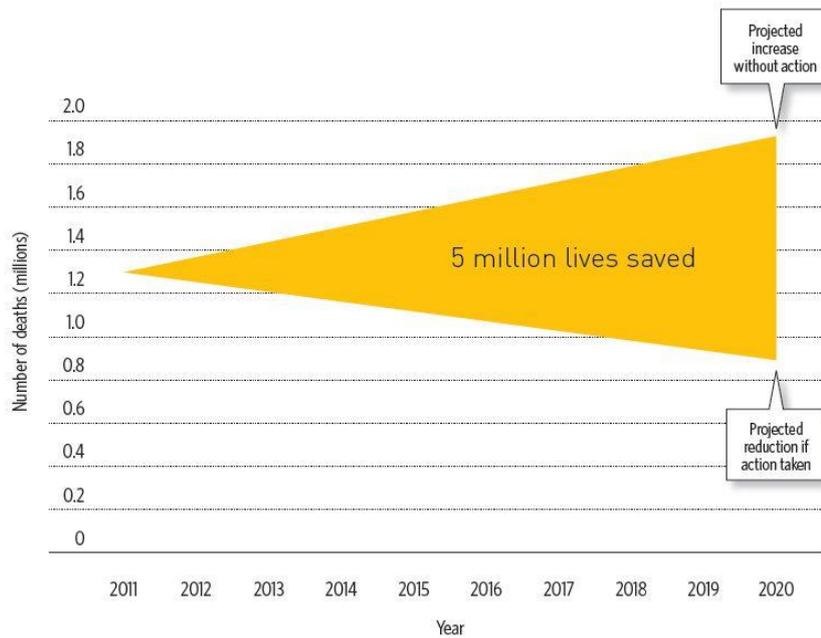


Figure 1.1 : Objectif de la Décennie d'action pour la sécurité routière 2011-2020 (WHO, 2013)

Selon le rapport mondial sur les accidents de la circulation et la prévention de l'année 2004, les accidents de la route se place à la neuvième place comme une cause majeure de décès dans le monde, comme le montre la figure 1.2. En effet, les tendances actuelles suggèrent que les accidents de la route deviendront la cinquième cause de décès en 2030, l'écart entre les pays à revenu élevé et à faible revenu sera encore accentuée (WHO, 2004).

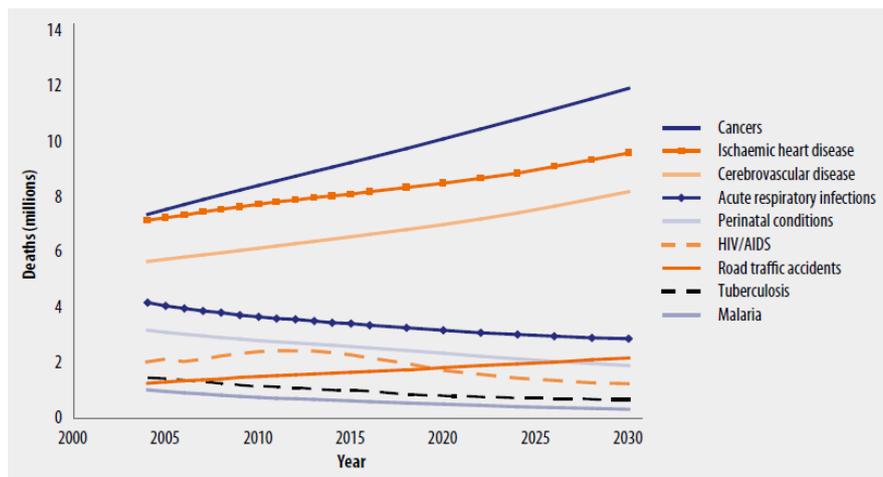


Figure 1.2 : Projection de tués dans le monde pour certaines causes, 2004-2030 (WHO, 2004)

1.3 Situation de la sécurité routière en Algérie

En Algérie, au cours des dernières décennies, on a assisté à une croissance rapide de la demande pour le transport routier, qui reflète l'augmentation de l'activité économique, de la population et du parc automobile. Cette augmentation dans le transport routier apporte des avantages à la société en termes de mobilité et d'accessibilité. La situation de la sécurité routière en Algérie s'est détériorée avec le nombre de tués dus aux accidents de la route est de plus en plus, en grande partie des conséquences directes de la croissance rapide de la population, parc d'automobiles, l'urbanisation et le manque d'investissement permanent dans la sécurité routière (figure 1.3).

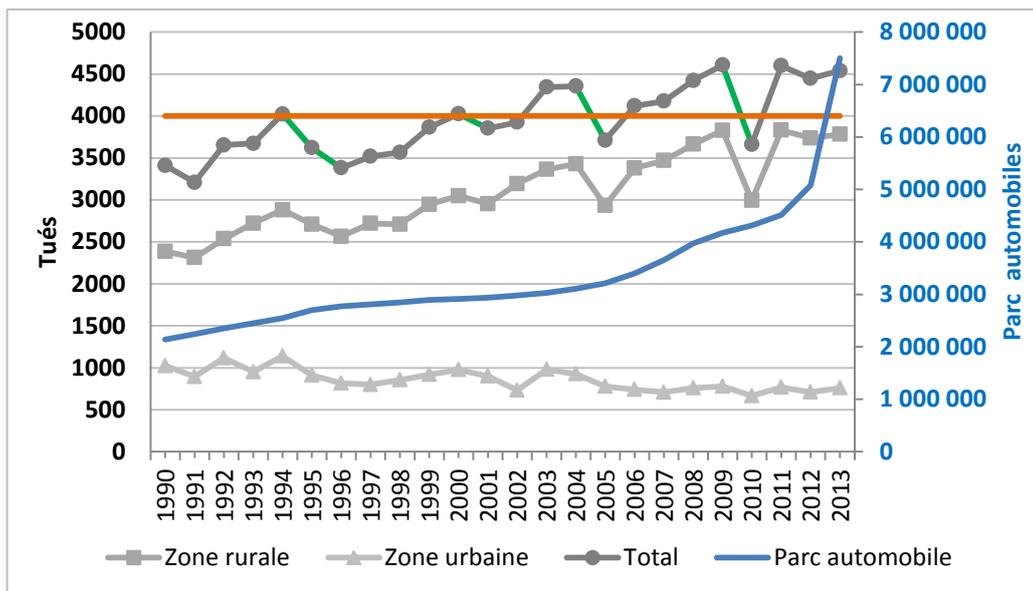


Figure 1.3: Evolution annuelle des tués et du parc national automobile

Le coût annuel des accidents de la route a été estimé par le ministère des Transports à plus de 1 milliard de dollars US par an, d'où chaque jour, une moyenne de 124 accidents corporels sont enregistrés pour un parc automobile de 8 millions de véhicules (CNPSR, 2014 ; UNI, 2014). La figure 1.3 illustre que, l'année 2009 est la plus meurtrière, avec un bilan très lourd qui a été estimé à 4.607 tués dont 3.829 personnes ont été tuées dans les zones rurales et 778 dans les zones urbaines, Ces chiffres représentent 13 tués par jour. Selon les statistiques fournies par le Centre National pour la Prévention et la Sécurité Routière (CNPSR, 2010), relevant du ministère des Transports, une réduction significative des tués sur les routes a été observée en 2010 par rapport à 2009 et le nombre de tués a baissé de 26% d'une manière progressive, passant en dessous du seuil de 4.000 tués. Cette baisse s'explique par l'apparition de la nouvelle loi N ° 09-03 de 2009 appliqués au début de 2010 relative à l'organisation, la sécurité et la police de la circulation routière qui a introduit une

réglementation plus coercitive. Néanmoins, l'évaluation des accidents de la route pour l'année 2013 a montré que le nombre de tués sur les routes a augmenté de 19% par rapport à l'année 2010. Le risque d'être tué dans un accident de la circulation en Algérie en 2013 est de 1,34 fois supérieur à celui de 1990. La figure 1.4 montre l'évolution de la mortalité exprimée en termes de décès pour 100 000 habitants en 2010 (Driss et al, 2014).

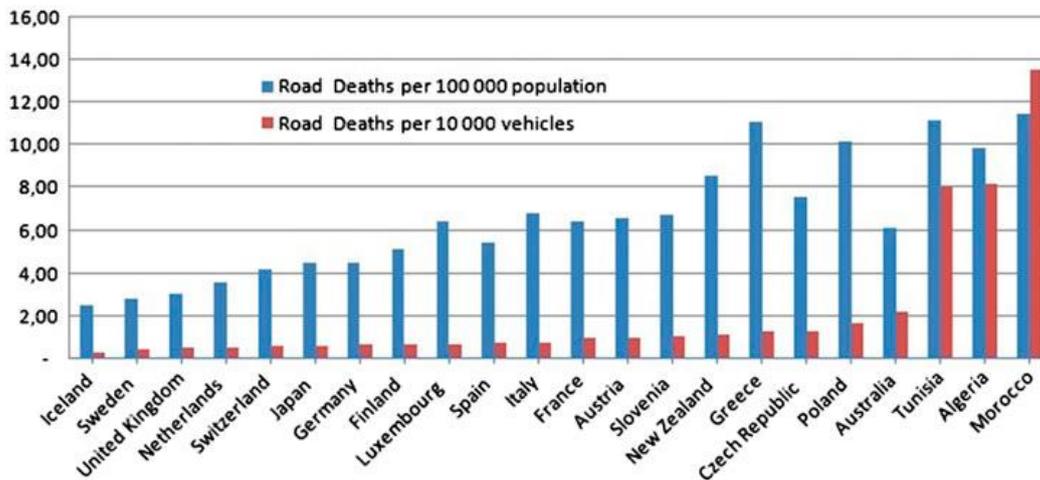


Figure 1.4 : Mortalité routière pour 100 000 habitants / 10 000 véhicules en 2010

La figure 1.4 conçoit également l'évolution du risque exprimée en termes de tués pour 10 000 véhicules immatriculés. Les pays ont tous connu un très faible risque similaire. Cette tendance n'est toutefois pas homogène pour les pays du Maghreb qui représentent un plus grand risque, malgré un parc de véhicules et un taux de motorisation très faibles par rapport à ceux des pays industrialisés. Néanmoins, les preuves de nombreux pays développés montrent que les succès spectaculaires dans la prévention des accidents de la route peuvent être réalisés par des efforts louables, et en permanent, dans la gestion des risques routiers. Ces exploits impliquent la mise en œuvre d'un certain nombre de mesures qui répondent non seulement la sécurité des usagers de la route, mais aussi la sécurité des véhicules et l'environnement routier.

Par ailleurs, comparer l'Algérie à d'autres pays en termes de sécurité routière est hasardeux car les concepts et les procédures utilisées diffèrent d'un pays à l'autre, et notamment la collecte des données des accidents de la route, que ce soit pour tenir compte des définitions internationales sur les tués ou non, blessés légers et blessés graves causés par des accidents de la route. En règle générale, les principales causes des accidents corporels de la route en Algérie sont les excès de vitesse, les dépassements dangereux, non respect de la distance de sécurité et la négligence des piétons.

1.4 Buts et objectifs de la recherche

À la lumière des problèmes de recherche décrits ci-dessus, l'objectif de cette thèse est d'une part d'identifier les zones d'accumulations des accidents de la route en zone rurale et d'autre part, comment évaluer l'accessibilité d'un réseau routier en zone urbaine. Ceci est formulé dans les objectifs suivants:

- ✓ Sélectionner les divers facteurs influant sur les accidents de la route ;
- ✓ Créer une base de données (Géodatabase) qui facilite la manipulation et la mise à jour des données relatives aux réseaux étudiés ;
- ✓ Cerner le modèle de prédiction logique flou appropriée au réseau étudié ;
- ✓ Étudier et affiner la base de règles afin d'améliorer la qualité de l'analyse ;
- ✓ Développer l'association entre les conditions de circulation du trafic et les caractéristiques de l'environnement routier et à la fois le degré d'exposition au risque d'accidents ;
- ✓ Prédire la causalité de la congestion routière par différents scénarios ;
- ✓ Analyser les applications pratiques des modèles développés dans l'objectif précédent et recommander des politiques de sécurité pour les décideurs ;

1.5 Structure de la thèse

Le thème général de cette thèse est d'établir une sélection significative des facteurs liés à la structure environnementale et spatiale des réseaux étudiés, influençant sur la survenue des accidents de la route. Elle devrait permettre d'identifier les meilleures pratiques, par la contribution des systèmes de prédiction développés au profit de la sécurité routière.

D'une part, sur la base des évaluations et des mesures des degrés d'expositions aux risques d'accidents, qui sont considérés comme un outil puissant de prise de décision dans les mains des décideurs locaux. La question est alors de déterminer des segments qui présentent des caractéristiques telles qu'ils doivent être considérés comme potentiellement dangereux ? Ce potentiel peut être examiné de différentes manières, par exemple par l'identification des éléments dangereux de l'infrastructure et de l'environnement ou par l'identification des conflits de la route qui pourraient être à l'origine d'accidents ?

En d'autre part, le réseau routier urbain joue un rôle clé dans la structure spatiale urbaine. Bien que, les temps de parcours remarquables sur différents segments routiers jugés critique dans les grandes agglomérations et villes algériennes. Actuellement, de nombreuses recherches sont intéressés à se

pencher sur l'analyse du réseau routier urbain. Cependant l'un des problèmes les plus importants attribués à l'analyse de l'espace urbain est de savoir : Comment évaluer l'accessibilité d'un réseau routier urbain? L'objectif s'articule ainsi sur une analyse concluante qui permette de mesurer clairement l'évolution de la congestion routière urbaine.

Ainsi, les deux modèles de prédiction visent à aider et guider plus efficacement les autorités locales, assurer une meilleure contribution du transport routier à l'économie en général, un transport plus sûr, et une relation plus harmonieuse entre le transport routier, les usagers des transports, l'environnement et la société.

Le deuxième chapitre montre, pour sa part, un intérêt croissant d'une recherche bibliographique très étendue afin de permettre une meilleure assimilation du sujet et de mettre à jour les connaissances dans le domaine des modélisations conceptuelles des phénomènes à risque spatialisé, et notamment le risque routier.

Avant de penser à la construction du premier modèle de prédiction des degrés spatiaux d'exposition au risque d'accidents de la route sur la base de l'approche logique floue, la première étape est d'arriver à un accord sur la base des règles du modèle. Par conséquent, une classification du risque d'exposition aux accidents de la route est proposée dans le chapitre trois sur la base de mesures locales des degrés pour chaque kilomètre par des applications et des techniques mises en œuvre, en utilisant la boîte à outils logique floue de Matlab, appliquée à une étude de cas : le réseau routier national de la wilaya de Mascara; cette approche a été théoriquement et méthodologiquement discutée.

Le quatrième chapitre, quant à lui, dresse le portrait global du réseau routier de la ville de Mohammadia. Ainsi, une caractérisation de l'état de la circulation et des caractères physiques des routes est effectuée. Par conséquent, le processus de l'extension Network Analyst dans l'environnement ArcGIS 10.1 requis, il a été activé et a donc fourni un ensemble complet d'outils pour créer, maintenir, et effectuer des analyses sur les jeux de données réseau.

Enfin, les conclusions et les recommandations fondées sur les constatations sont également détaillées. Plusieurs implémentations stratégiques possibles sont proposées dans le but d'améliorer la sécurité routière, et sont présentées au chapitre cinq.

Chapitre 2 :

Etat de l'art : La modélisation du risque routier

2.1 Introduction

L'identification des lieux dangereux d'un réseau routier constitue un domaine important de toute recherche consacrée à la sécurité routière. Ces lieux sont caractérisés par une accumulation d'accidents de la route, généralement associés aux blessures corporels (Vandersmissen et al., 1996). Dans la littérature, il existe un certain nombre de méthodes visant à identifier les lieux dangereux de la route. Ces méthodes tiennent compte de divers critères pour estimer l'insécurité d'un lieu. Une occupation significative de recherche dans la littérature internationale est consacrée à décrire, expliquer et identifier des endroits dangereux d'un réseau routier qui constitue un champ significatif de la recherche consacrée à la sécurité routière. Ainsi, ce chapitre présente l'état de l'art des approches de la gestion du risque routier et l'analyse de la sécurité des réseaux routiers ruraux et urbains. Ce chapitre sera suivi par deux chapitres successifs qui élaborent des lignes directrices pour le développement d'un modèle logique flou pour prédire le risque routier en zones rurale, et d'un système d'analyse spatiale d'un réseau routier urbain. Les deux approches sont présentées par des exemples pratiques.

2.2 La modélisation du risque routier

Un accord très important des travaux de recherche dans la littérature internationale est consacré à la description et expliquant la survenue d'accidents de la route. Pour ces problèmes généraux correspond un assez vaste domaine de divers centres d'intérêts. Cela peut s'étendre à partir du point de vue sur les aspects techniques des véhicules et les caractéristiques des infrastructures; d'autres points de vue sont les aspects psychologiques, comportementaux et socio-économiques des usagers de la route (Flahaut, 2002). La littérature proposée ici est faite de six sections. La première section est consacré aux approches primaires basées uniquement sur l'insécurité observée tandis que la seconde offre un aperçu sur les approches probabilistes qui tiennent compte des aspects aléatoires d'un accident de la route, la troisième section offre une section détaillée sur l'approche logique floue, les méthodes basées sur les statistiques spatiales sont décrits dans la quatrième section. La cinquième section concentre sur l'étendue de la congestion routière urbaine et les mesures à entreprendre pour remédier à ce phénomène. Enfin, la sixième section s'articule sur les systèmes d'analyses des réseaux urbains.

2.2.1 Les approches primaires

2.2.1.1. Fréquences observées

La méthode consiste à considérer que le nombre d'accidents observés à chaque lieu est représentatif de sa dangerosité. Ensuite, un classement est établi en fonction de cette fréquence observée: les accidents se produisant plus sur un lieu, plus il est dangereux. Cette méthode a été prise en compte pour une grande partie dans des études entreprises par les autorités responsables de la sécurité routière et de la gestion de l'infrastructure (Maher et Mountain, 1988 ; Silcock et Smith, 1985). Avec cette méthode simple, les lieux sélectionnés pour effectuer un traitement seront ceux premiers classés. Cependant, plusieurs valeurs seuils sont fixés afin de différencier les lieux d'accidents en fonction de critères tels que le type d'environnement (rural ou urbain), la configuration du lieu (carrefours, des courbes, des sections linéaires, etc) ou le type de route (McGuigan, 1981). Ces seuils peuvent être arbitraire et non justifiée (Vandersmissen et al., 1996) , par exemple à partir du nombre moyen d'accidents pour un ensemble de lieux présentant des caractéristiques similaires. Un inconvénient de cette approche est que le volume de trafic associé à différents lieux ne sont pas prises en compte.

2.2.1.2. Exposition aux risques

Dans le cadre des méthodes simples basées uniquement sur l'insécurité observée, il est également possible de prendre en compte des fonctionnalités supplémentaires telles que l'exposition au risque (en fonction du volume de trafic) ou la gravité des accidents.

Le caractère dangereux correspond souvent à un nombre élevé d'accidents qui sont liés à un volume élevé de trafic. Cette approche relie le nombre d'accidents sur le volume de trafic et d'exprimer plutôt en termes de rapport d'accidents par million de véhicules ou million de véhicules-kilomètres. Ainsi, cette approche favorise les lieux qui comptent peu d'accidents avec un trafic faible. Par ailleurs, le choix de chaque approche dépend du/des critère (s) est considéré comme le plus approprié. Cependant, il pourrait donc être intéressant de relier ces deux aspects complémentaires du problème étudié (Flahaut, 2002).

2.2.1.3. Pondération en fonction de la gravité

Une pondération est introduit pour identifier les lieux dangereux non seulement en fonction de leur nombre d'accidents, mais en fonction de critères tels que la gravité de blessures, le coût de l'accident (Walsh et Dileo, 1992), le nombre d'utilisateurs différents implicites (Nguyen, 1991), les usagers les plus vulnérables (écoliers, piéton), le nombre de tués et pas seulement le nombre d'accidents (Lessard et al., 1992;. Brown et al, 1992). Ainsi, des indices peuvent être pondérés par l'exposition au risque pour différencier la contribution individuelle des accidents en fonction de leurs caractéristiques. Le principal problème est la justification difficile de pondérations utilisées, qui restent souvent assez arbitraire.

Par ailleurs, dans ces techniques, il est possible de ranger les critères dans un sens croissant de préférence, ou les comparer entre eux. Pour cette raison, il existe des méthodes qui consistent à déterminer des poids relatifs aux critères, en introduisant des informations subjectives relatives à ces critères. Ainsi, le principe consiste à comparer chaque critère par rapport aux autres et introduire un rapport de préférence selon l'échelle de Saaty (Belton, 1986; Saaty, 1991).

2.2.2 Approches probabilistes

Le nombre d'accidents observés à un lieu donné est soumis à des variations aléatoires importantes, car il peut résulter d'une fluctuation aléatoire autour du nombre moyen d'accidents au cours d'une période de temps. Par conséquent, ce nombre n'est pas nécessairement représentatif de la dangerosité réelle d'un lieu. Celui-ci devrait être estimé en intégrant le caractère aléatoire. Cet effet peut être contrôlé en utilisant des méthodes probabilistes. Ces méthodes servent d'un modèle de prédiction pour estimer un niveau de (in)sécurité acceptable pour un lieu. Ce niveau est censé dépendre des caractéristiques fixes et non modifiables du lieu. Les approches probabilistes sont basées sur plusieurs techniques.

Wang (2010) a exploré la relation entre les embouteillages et les accidents de la route en utilisant un modèle économétrique et un SIG. L'analyse est basée sur les données de l'autoroute M25 avec ses routes principales mitoyennes. Ainsi, une série de modèles économétriques ont été utilisés, étaler par le modèle spatial Bayésien et le modèle logit mixte pour étudier l'effet de la congestion du trafic sur la fréquence et la gravité des accidents. Les résultats obtenus montrent que l'estimation des modèles montrent que la congestion du trafic est positivement associée à la fréquence des accidents mortels et graves et négativement associée à la gravité des accidents qui se sont produits. La congestion routière se trouve avoir peu d'impact sur la fréquence des accidents avec blessures légères.

Wang (2010) conclut que la congestion du trafic dans son ensemble a un impact négatif sur la sécurité routière. Cela est en partie attribuable à la hausse de la variance de vitesse entre les véhicules à l'intérieur et entre les voies et le comportement erratique au volant en présence de congestion. Cependant, les résultats indiquent que la mobilité et la sécurité peuvent être améliorées en même temps, et donc il est important de réduire la congestion du trafic en termes de sécurité routière. Wang (2010) a proposé également que le processus de modélisation peut être utilisé dans le classement du réseau étudié dans le but d'identifier les points noirs des accidents dangereux pour plus d'examen et traitement de la sécurité. Cependant, le développement dans l'économétrie spatiale a permis aux chercheurs de résoudre les problèmes de corrélation spatiale. L'économétrie spatiale a été utilisée dans l'analyse écologique et plus récemment dans l'analyse des accidents de la route (par exemple, Miaou et al, 2003 ; Miaou et Song, 2005).

Noland et Quddus (2005) ont étudié la congestion et la sécurité à Londres en utilisant une approche d'analyse spatiale. Londres a été divisée en 15 366 unités spatiales, les données réelles dans chaque domaine ont été recueillies et analysées à l'aide des modèles Binomial Négative en contrôlant d'autres facteurs. Les accidents ont été classés par 3 niveaux de gravité (décès, blesses graves et blesses légères). Les niveaux de congestion ont été mesurés à l'aide de plusieurs variables y compris une variable indicatrice pour intérieur et extérieur de Londres, l'emploi à proximité et la densité de l'emploi. Une série de modèles Binomial Négative) ont été utilisés pour l'analyse des heures de pointe (période congestionnée: 07h00-8: 30 h, semaine) et les heures creuses (période sans congestion: 20h30-7: 00 heures, en semaine), de manière à contrôler la congestion dans le temps en comparant les résultats de l'heure de pointe et hors périodes pointes. Les résultats sont indéterminés et les variables de substitution pour la congestion sont généralement pas statistiquement significatifs dans leurs modèles, ce qui suggère qu'il y a peu d'effet de la congestion de la circulation sur la sécurité routière, ce qui constitue une limitation majeure de leur étude. L'amélioration de la sécurité routière est un objectif important pour les décideurs politiques, le développement considérable doit être fait dans tous les aspects du système de transport routier qui comporte trois parties principales: les routes (pour lesquels le gouvernement, les autorités locales et les ingénieurs d'infrastructures routières sont responsables), les véhicules (pour lesquels les constructeurs automobiles et les propriétaires des véhicules sont responsables) et les usagers (dont les conducteurs, les passagers et les piétons sont responsables) (Wang, 2010). L'auteur suggère que pour améliorer efficacement la sécurité routière, il est nécessaire de bien comprendre ce qu'est et comment les facteurs de risque influent sur les accidents de la route. Une fois les facteurs de risque sont identifiés, des décideurs gouvernementaux ou du transport peuvent élaborer des mesures correspondantes pour améliorer la

sécurité routière. Par ailleurs, différents questionnaires sont utilisés visant à classer les lieux en fonction de leur dangerosité distinguée (Bégin et al, 1989; Prévost et Roy, 1989).

Dans son étude, Chang (2005) a comparé la régression binomiale négative à un modèle de réseau de neurones pour analyser la fréquence des accidents sur l'autoroute à Taiwan. Il a utilisé les mêmes variables qui sont la géométrie de la route, les caractéristiques du trafic et les conditions météorologiques dans les deux modèles. Toutefois, il a conclu que la méthode de réseau de neurones était plus puissante, car il n'a pas besoin d'une relation prédéfinie entre les variables dépendantes et indépendantes. Delen et al. (2006) ont également utilisé un modèle de réseau de neurones pour identifier la relation entre la gravité des blessés et les facteurs liés aux accidents de la route

Ciarapica et Giacchetta (2009) ont mis au point des modèles de classification et de prévision dans une région italienne basée sur les réseaux de neurones artificiels et un système d'inférence flou de type Sugeno en utilisant les techniques informatiques basées sur un ensemble de données des blessés liés au travail. Les systèmes neuro-flous ont été utilisés pour classer les variables critiques en termes de leur relation et la sensibilité aux accidents du travail. L'objectif de l'analyse de sensibilité est de reconnaître les facteurs qui ont le plus d'influence sur les blessures qui se sont produites au sein de chaque catégorie de blessures, de manière à identifier les aspects les plus importants et de réduire ainsi le nombre d'accidents et leur gravité. Les variables d'entrée les plus pertinentes des modèles associées à des problèmes économiques et législatives ont été choisies. L'accident du travail est caractérisé dans cette étude à travers deux indices, dont l'une indique la fréquence des blessures tandis que l'autre se réfère à la gravité de la blessure. Afin de tenir compte de la gravité différente d'attribuer à ses blessures à l'égard des trois catégories de résultats (temporaire, permanent et mortel), un indice de gravité a été défini pour chaque blessure. Cette application peut fournir des modèles plus instructifs, flexibles et attractifs pour identifier les zones de risques potentiels afin de soutenir la prise de décision dans la gestion de la sécurité.

Ng et al. (2002) ont développé un algorithme pour estimer le nombre d'accidents de la circulation et d'évaluer le risque d'accidents de la circulation à Hong Kong. Ils ont combiné les méthodes de SIG et des méthodes statistiques dans leur algorithme d'estimation. Ils ont utilisé un modèle de régression binomiale négative pour observer la relation entre le nombre d'accidents et les facteurs de causalité potentiels. Les résultats ont montré que l'algorithme proposé semblait être plus efficace dans le cas des accidents mortels liés aux piétons.

Berhanu (2004) a développé un modèle statistique relatif à la sécurité routière pour prédire les accidents à Addis-Abeba en relation avec des mesures explicatives, les caractéristiques flux, les sites et la géométrie de la route. L'étude a montré que l'amélioration de la largeur de la chaussée, des installations pour les piétons et la gestion des accès a été efficace pour réduire le nombre d'accidents de la route. Toutefois, une relation significative a été trouvée entre la largeur de voie et le nombre total d'accidents de la route. Berhanu (2004) a également noté l'importance des tracés pour réduire le risque d'accidents. Il a donc proposé une augmentation de la courbure de la route pour éviter la tendance à conduire à des vitesses plus élevées.

Gaudry et Himouri (2013) ont proposé DRAG-ALZ-1, un premier modèle à l'échelle nationale pour l'utilisation des routes et des résultats de la sécurité routière pour l'Algérie. L'usage du DRAG-type et des méthodes d'estimation de régression ont démontré l'opérationnalité du modèle. Doniec et al. (2008) ont également développé un système basé sur un modèle multi-agents capable de simuler de façon réaliste le trafic à l'intérieur d'une intersection, ce système est basé sur le comportement opportuniste des conducteurs individuels qui intègre la violation de priorité à l'intersection de différents scénarios de trafic. En outre, en raison de la variété des mouvements de véhicules et des types de collisions aux intersections, Ye et al. (2009) ont également mis au point un modèle de régression de Poisson avec hétérogénéité normale multivariée de fréquence simultanée des équations des accidents par type de collision en Géorgie sur les routes rurales aux Etats-Unis pour estimer avec précision les impacts de diverses variables explicatives sur les fréquences de collision. En outre, les corrélations d'erreurs quantifiées dans ce modèle mixte peuvent aider à mieux comprendre le rôle des facteurs non observés qui affectent simultanément la survenue d'accidents de divers types.

Les approches probabilistes ont l'avantage de prendre en compte le caractère aléatoire de la survenue d'accidents de la route. Par conséquent, les estimations de l'insécurité sont plus fiables mais elles restent difficilement applicables dans la pratique (en particulier les méthodes bayésiennes) en raison de grand nombre de données nécessaires pour les applications.

2.2.3 Approche logique floue

L'approche logique floue semble tout à fait appropriée à de nombreux domaines de recherche, car elle représente les données par des règles plutôt que par des équations précises. La logique floue a démontré sa capacité à améliorer des performances semblables à celles du raisonnement humain et à décrire des systèmes complexes en termes linguistiques au lieu de valeurs numériques (Zadeh 1975).

Ces termes linguistiques facilitent les expressions des règles floues. Par ailleurs, la conception du Système d'Inférence Floue (SIF) est facile à développer et peut gérer des systèmes complexes, même s'il nécessite une connaissance préalable du mécanisme. La logique floue et les réseaux de neurones sont deux techniques fréquemment utilisées du domaine très vaste de l'intelligence artificielle. Dans de nombreuses études dans la littérature, la logique floue est intégrée avec les réseaux de neurones, et apparaît comme la modélisation: neuro-flou. Des études ont bénéficié des avantages des deux approches; réseaux de neurones fournissent l'apprentissage à partir d'exemples et d'optimisation en tirant d'avantage des ensembles de données d'entrée-sortie souhaités, et les Systèmes Inférences Flous (SIF) fournissent des observations utiles, des connaissances, les règles flous IF-THEN et le raisonnement flou (Samadzagedan, et al., 2005).

La logique floue révèle de puissantes compétences dans l'ingénierie du trafic, ainsi que dans plusieurs autres domaines. Yin et al. (2002) ont appliqué la logique floue pour la prédiction de la fluidité de la circulation dans les zones urbaines en fonction des conditions de circulation en temps réel sur plusieurs sites à Hong Kong. Les résultats du modèle développé sont significatifs par rapport aux données réellement observées. Murè et Demichela (2009) ont mis au point une méthodologie basée sur la logique floue qui permet de quantifier le risque d'accidents pour les différentes activités industrielles et d'identifier les mesures les plus efficaces d'intervention qui peuvent être prises pour réduire le risque.

Madhavan-Nair et Cai (2007) ont proposé un contrôleur de logique floue qui a montré son efficacité pour s'adapter aux anomalies dans les carrefours à feux. Ils ont suggéré que la logique floue a été utilisée pour sa simplicité et sa capacité à s'adapter aux conditions de circulation. La simulation a été effectuée à l'aide du logiciel Matlab. Sa boîte à outils logique floue permet de construire rapidement des règles floues, et des changements peuvent être effectués facilement. Un système de règles floues est donc mis au point à partir d'une connaissance approfondie des données historiques des accidents de la route et des connaissances d'experts de la circulation qui peuvent améliorer la gestion du risque routier. Chuang et al. (2009) suggèrent que les règles floues sont un élément central et elles ont plus d'effets que d'autres éléments dans un système flou parce qu'elles se situent au niveau supérieur des performances primaires du système. Une question importante est dans leur application d'établir correctement les règles floues parce que la performance du contrôleur flou s'appuie fortement sur cette étape. Des techniques, telles que le système de logique floue ont été largement utilisées comme des outils efficaces pour la modélisation et prédiction des systèmes complexes (Yan et al. 2010). Xiao et al. (2000) ont développé deux modèles à logique floue basé sur des systèmes

d'inférences floue, les plus utilisés, ceux du type Mamdani et ceux du type Takagi-Sugeno pour prédire le risque d'accidents qui pourraient survenir sur les chaussées mouillées.

Toutefois, l'application de SIF à la logique floue offre une solution pertinente pour les systèmes complexes ayant un comportement fortement non linéaire en raison de sa capacité à produire un raisonnement sur des termes proches du langage humain.

2.2.3.1. Système d'Inférence Flou

La conception du Système d'Inférence Floue (SIF) suit trois principales opérations distinctes:

2.2.3.1.1. Fuzzification

Les bases de données observées sont des quantités physiques. Tout d'abord, il est nécessaire de convertir les données d'entrée en variables floues appropriés, réelles. Un processus, connu sous le nom de fuzzification est ensuite utilisé. Il permet d'établir les degrés d'appartenance aux différents ensembles flous de la partition des variables floues. Tous les phénomènes contradictoires peuvent donc être « fuzzifiés » ou « floutés » en fonction de leur degré d'appartenance. La fuzzification consiste à attribuer une valeur numérique à chaque quantificateur flou représenté par des fonctions d'appartenance qui sont des descriptions qualitatives du comportement du système flou. Un tel ensemble est caractérisé par une fonction d'appartenance qui attribue à chaque objet un degré d'appartenance compris entre zéro et un (Zadeh, 1965). Le concept des ensembles flous et la théorie des possibilités précisent la gradation des concepts de possibilité et de certitude (Zadeh, 1978). Généralement, nous utilisons des fonctions d'appartenance de forme triangulaire, trapézoïdale et / ou gaussienne, parmi d'autres possibles. Cependant, dans les applications pratiques, les fonctions triangulaires et trapézoïdales sont préférées comme des fonctions linéaires simples. Un ensemble flou est défini par une fonction d'appartenance $\mu_A(x)$, qui décrit le degré auquel l'élément appartient à A x de telle sorte que (1):

$$\mu: x \in A \rightarrow \mu_A(x) \in [0,1] = \begin{cases} \mu_A(x) = 1 & \text{si } x \text{ est complètement dans } A \\ 0 < \mu_A(x) < 1 & \text{si } x \text{ est partiellement dans } A \\ \mu_A(x) = 0 & \text{si } x \text{ est en dehors } A \end{cases} \quad (1)$$

2.2.3.1.2. Règles d'inférence floue

Les règles d'inférence floue constituent l'opération essentielle du SIF. Elles s'appliquent à travers un nombre de règles de production reliant les variables floues d'entrées aux variables floues de sortie.

Ces relations constituent alors la base de règles sur lesquelles les décisions peuvent être prises. Il est nécessaire de déterminer comment le système interprète les variables linguistiques floues. L'établissement de ces règles est généralement fondé sur la connaissance du problème et sur l'expérience de l'opérateur qui peut fixer le nombre des variables linguistiques ainsi que leurs fonctions d'appartenances.

Le nombre de règles dépend du nombre d'entrées, et du nombre de zones. Si l'on considère n discours univers U_i pour les entrées de système flou et chaque univers U_i est divisé en m_i , les fonctions d'appartenance floues, alors le nombre maximal de règles est donné par (2) (Tong-Tong 1995).

$$r_{max} = \prod_{i=1}^n m_i \quad (2)$$

où r_{max} est le nombre maximum de règles et m_i est le nombre de fonctions d'appartenance à un univers de discours U_i .

Cependant, un système complexe qui a un très grand nombre de règles limite les performances du système. Par conséquent, il est nécessaire de sélectionner la méthode d'inférence floue appropriée au système pour calculer la fonction de sortie. En général, la méthode d'inférence floue consiste en l'implication et l'agrégation des règles. L'implication est déterminée par un opérateur flou le poids de chacun des conséquences des règles impliquées. L'agrégation permet de synthétiser les solutions de chaque implication. Cette synthèse nous permet de déterminer la variable floue de sortie finale. Dans la littérature, il existe plusieurs types de méthodes d'inférence floue qui peuvent être mises en œuvre dans les systèmes flous et la plus couramment utilisée c'est la méthode de Mamdani qui utilise les opérateurs min et max pour l'implication et l'agrégation. La méthode Mamdani permet une description linguistique du système sur la base des règles de la méthode max-min proposé par Zadeh (Yen et al. 1995). Elle est définie comme suit:

L'implication est donnée par l'opérateur min, elle est définie par l'équation 3.

$$\mu_{c_1}(z) = \min(\mu_{A_1}(x), \mu_{B_1}(y)) \quad (3)$$

Le résultat final est donné par l'agrégation, utilisant l'opérateur *max*. Elle est définie (4) comme suit :

$$C^{\cdot} = \max (C_1^{\cdot}, C_2^{\cdot}, \dots, C_n^{\cdot}) \quad (4)$$

Finalement, le calcul de l'évaluation des règles utilisant le *modèle de Mamdani* est généralisé par (5).

$$\mu_{c^{\cdot}}(z) = \max[\min(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y))] \quad (5)$$

où:

$\mu_{c^{\cdot}}(z)$: c'est la valeur de la variable de sortie floue.

2.2.3.1.3. Défuzzification

Les méthodes d'inférence créent une fonction d'appartenance résultante de la variable de sortie. Il est donc nécessaire de transformer cette variable floue en une véritable grandeur physique réelle. L'opération de défuzzification permet d'inférer une valeur précise à partir des degrés d'appartenance de tous les sous-ensembles flous de la variable de sortie du système. La figure 2.1 montre le schéma de principe d'un système d'inférence floue

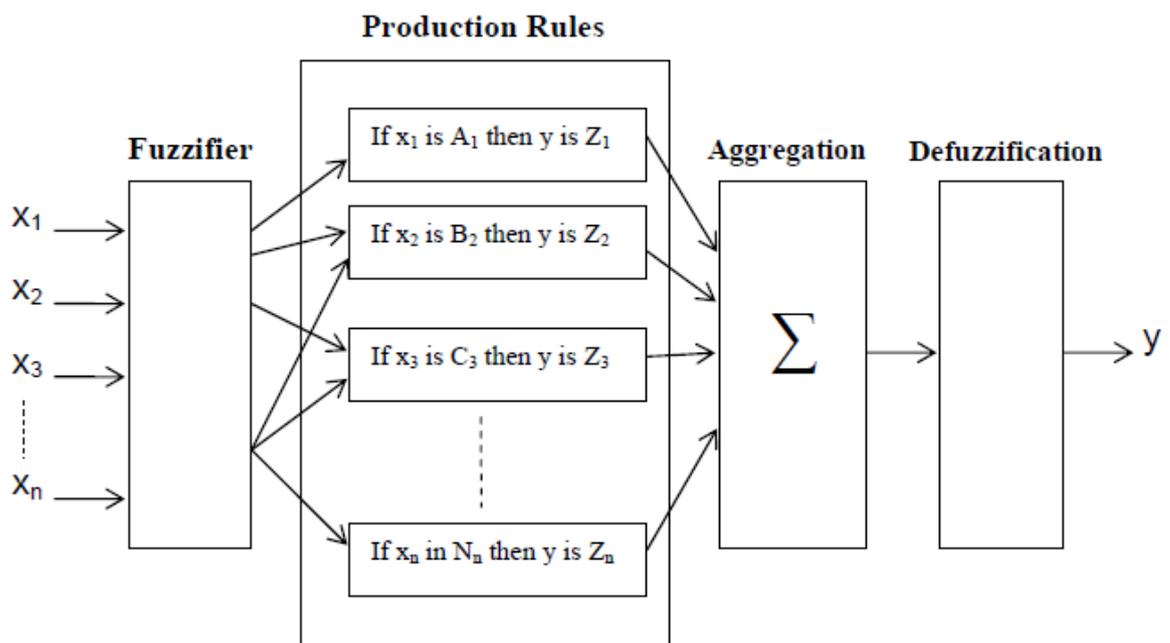


Figure 2.1 : Schéma de principe d'un système d'inférence floue (Selvi, 2009)

Cependant, il existe plusieurs méthodes de défuzzification, à savoir la méthode du maximum, la méthode des hauteurs pondérés et la méthode centre de gravité (Sivanandam et al. 2007). La méthode du centre de gravité est la méthode qui a été la plus couramment utilisée dans diverses études, et c'est la méthode que nous avons choisi d'utiliser. Ce centre est défini comme suit (6):

$$\mu_c = \frac{\sum_i \mu_c(x_i) \cdot x_i}{\sum_i \mu_c(x_i)} \quad (6)$$

La méthode du centroïde est basée sur le calcul de l'abscisse correspondant au centre de gravité de la surface de l'ensemble flou de la solution déterminée par l'agrégation des règles de logique floue. Cependant, il semble qu'il n'y ait vraiment pas de bonne ou de mauvaise méthode de défuzzification. Le choix de la méthode de défuzzification est déterminé par un compromis entre la facilité et la performance qui repose sur les décisions des experts.

2.2.4 Analyse exploratoire des données spatiales

Un certain nombre de définitions et des explications des notations standard des statistiques spatiales sont nécessaires. Une mesure de la dépendance spatiale est tenue de faire quelques hypothèses sur le processus de génération de données voisines. Les travaux de Luc Anselin et Arthur Getis ont permis à la statistique spatiale exploratoire de passer du stade d'une analyse spatiale globale à une analyse locale susceptible afin de repérer les principaux centres d'intérêt dans la zone d'étude (Anselin, 1995 ; Ord et Getis, 1995 ; Wu et al., 2004).

4.2.4.1. Indicateurs globaux de l'association spatiale

Les indicateurs globaux sont caractérisés par une valeur moyenne d'un modèle spatial dans un jeu de données à travers une zone d'étude. Il est néanmoins nécessaire de faire un choix optimal des paramètres principaux constitué de ces indicateurs, et surtout donner une définition spécifique de liens de voisinage (proximité spatiale) pour calculer ces indicateurs. Toutefois, ces Indicateurs globaux ont des applications limitées notamment une partie de la zone d'étude peut ne pas représenter la situation réelle (Fotheringham et al., 2000). Par ailleurs, une mesure unique de l'association globale peut avoir une contribution de moindre importance (Anselin, 1995 ; Getis et Ord, 1996 ; Unwin, 1996 ; Fotheringham et al., 2000). Les Indicateurs globaux les plus connus sont Getis-Ord et Moran.

4.2.4.1.1. L'indicateur global de Getis-Ord G (d)

L'indicateur global de Getis-Ord G(d) mesure le degré d'agrégation des valeurs élevées ou faibles, ce qui signifie que les résultats de l'analyse sont interprétés dans le contexte de l'hypothèse nulle. L'hypothèse nulle pour l'indicateur global Getis-Ord G(d) déclare qu'il n'y a pas de regroupement spatial de valeurs d'entités, ainsi les valeurs sont distribuées au hasard (aléatoirement) parmi les entités de jeu de données, reflétant le processus spatiaux aléatoires. L'indicateur global Getis-Ord G(d) peut prendre des valeurs entre 0 et 1 (Mitchell, 2005).

L'indicateur global Getis-Ord G(d) est écrit ci-dessous par l'équation (7).

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, \forall_j \neq i \quad (7)$$

Où, dans notre cas, x_i est le nombre d'accidents observés dans chacune des Unités Spatiales de Base (par exemple : USB = 100 mètres), n est le nombre total d'accidents de la route et w_{ij} est une matrice de poids spatiale basée sur une distance d_{ij} . Chaque matrice de pondérations spatiales w_{ij} est associée à une distance critique d_c .

L'indicateur global Getis-Ord G(d) est remplacé par sa forme standardisée, le Z(G) pour Getis-Ord G(d) est défini par (8):

$$Z(G) = \frac{G - E(G)}{\sqrt{V(G)}} \quad (8)$$

Si la valeur Z(G) est positive, indiquant des valeurs élevées pour l'attribut sont regroupés dans la zone d'étude. Si la valeur Z(G) est négative, ce qui indique que de faibles valeurs sont regroupés dans la zone d'étude.

où: L'espérance et la variance sont écrits ci-dessous successivement par (9) et (10).

$$E(G) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{n(n-1)}, \forall_j \neq i \quad (9)$$

$$V(G) = E[G^2] - E[G]^2 \quad (10)$$

4.2.4.1.2. L'indicateur global de Moran I (d)

Un autre indicateur global est proposé par Moran (1950), et défini par (11) :

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} x_i x_j}{S_o \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (11)$$

Dans laquelle les symboles sont tels que définis ci-dessus, le numérateur est normalisée par la variance (S_o) de sorte que les valeurs de l'indice sont comprises entre -1 et +1, et donc est la somme de tous les poids spatiaux:

$$S_o = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j}$$

Le Z(I) pour l'indicateur global est décrit par l'équation (12):

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{V(I)}} \quad (12)$$

où: l'espérance et la variance sont écrits ci-dessous successivement par (13) et (14).

$$E(I) = -1/(n-1) \quad (13)$$

$$V(I) = E[I^2] - E[I]^2 \quad (14)$$

L'indicateur global I(d) est un indicateur inférentielle, ce qui signifie que les résultats de l'analyse sont toujours interprétés dans le contexte de l'hypothèse nulle. L'hypothèse nulle indique que l'attribut est distribué au hasard parmi les entités dans la zone d'étude. Toutefois, l'hypothèse nulle peut être rejetée, lorsque le Z(I) est positif, la distribution spatiale des valeurs élevées et/ou des valeurs faibles dans le jeu de données est plus spatialement regroupées, et lorsque le Z(I) est négative, la distribution spatiale des valeurs élevées / faibles dans le jeu de données est plus

spatialement dispersée, de sorte que les valeurs de l'indice sont comprises entre -1 et +1 (Mitchell, 2005).

4.2.4.2. Indicateurs Locaux de l'Association Spatial (LISA)

LISA sont couramment formulés comme une mesure numérique d'une variable aléatoire concernant chaque donnée individuelle aux valeurs observées dans des lieux voisins. LISA pourraient être une manière appropriée comme des indicateurs de l'hétérogénéité spatiale locale et utile pour étudier les effets des zones voisines de différents phénomènes. En outre, LISA peuvent être facilement incorporés dans des outils de visualisation, Système d'information géographique (SIG), car ils fournissent des informations géo-référencées à un niveau local, ainsi ce sont d'excellents outils pour l'analyse exploratoire des données spatiales (Unwin, 1996, Lee et Wang, 2001). D'ailleurs, ces dernières années, le développement rapide et l'adoption de la technologie des systèmes d'informations géographiques (SIG) ont reçu une attention croissante dans l'analyse spatiale (Booth, 2004).

L'auto-corrélation spatiale locale est utilisée pour détecter des regroupements locaux autour d'une situation individuelle et spatiale non stationnaire, en particulier dans les cas où l'auto-corrélation spatiale globale ne parvient pas à détecter ces modèles. En général, ces approches locales détectent des regroupements qui permettent de déterminer si, pour chaque USB, est observé des valeurs semblables ou dissemblables des Unités Spatiales de Base (USBs) voisines. Par ailleurs, les mesures locales d'autocorrélations spatiales décomposent l'indice global de façon à identifier la contribution individuelle de chaque lieu et l'ensemble des lieux pris dans son voisinage, à la structure spatiale observée localement. Donc, il s'agit d'un développement fondamental pour faciliter l'usage de la statistique spatiale en recherche appliquée (Zaninetti, 2007). Les deux biens connus des indicateurs locaux pour mesurer l'auto-corrélation spatiale: l'indice d'auto-corrélation spatiale locale Getis-Ord $G_i^*(d)$ et l'indice d'auto-corrélation spatiale locale de Moran I_i .

2.2.4.2.1. L'indice d'auto-corrélation spatiale locale Getis-Ord $G_i^*(d)$

L'indice d'auto-corrélation spatiale locale Getis-Ord $G_i^*(d)$ est calculé pour chaque entité dans un jeu de données. L'indice d'auto-corrélation spatiale locale Getis-Ord $G_i^*(d)$ est donné par (15).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{s \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j} \right)^2}{n-1}}} \quad (15)$$

où les symboles sont tels que définis ci-dessus à l'exception, \bar{X} est le nombre moyen d'accidents sur l'ensemble du réseau routier (16) et S est la variance des accidents de USB_i à USB_j à une distance d_{ij}, elle est défini par (17).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (16)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (17)$$

L'indice d'autocorrélation spatiale locale Getis-Ord Gi*(d) est calculé et remplacé par sa forme normalisée, et interprété selon les quintiles de la normale de Laplace-Gauss (Zaninetti, 2007). Le Z(Gi*) pour la statistique est calculée par (18), et qui est associée à une signification statistique pour chaque USB_i. Les résultats Z(Gi *) indiquent les points d'agrégation spatiale des entités présentant des valeurs élevées ou faibles. Une valeur Z (Gi*) positive indique un regroupement des valeurs élevées. Une valeur Z (Gi*) négative indique un regroupement des valeurs faibles. L'indice local de Getis-Ord Gi*(d) est estimé en examinant chaque entité dans le contexte des entités voisines.

$$Z(G_i^*) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{s \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j} \right)^2}{n-1}}} \quad (18)$$

2.2.4.2.2. L'indice d'autocorrélation spatiale locale de Moran Ii (d)

(Anselin, 1995) a montré que l'indice global d'autocorrélation spatiale de Moran I peut être décomposé en valeurs locales, et traduit par un indice d'auto-corrélation spatiale locale de Moran I_i qui fait la distinction entre un agrégat statistiquement significatif (par exemple au seuil de confiance de 95%) de valeurs élevées, un agrégat de valeurs faibles, un point aberrant dans lequel une valeur

élevée est entourée principalement de valeurs faibles et un point aberrant dans lequel une valeur faible est entourée principalement de valeurs élevées. On Note également, comme l'indice local de Getis-Ord $G_i^*(d)$, que l'indice local de Moran I_i (I) est une mesure relative qui peut être interprétés dans le contexte de $Z(I_i)$.

L'indice d'auto-corrélation spatiale locale de Moran I_i est donné par (19) :

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad (19)$$

où les symboles sont tels que définis ci-dessus.

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{X})^2}{n-1} - \bar{X}^2 \quad (20)$$

Le $Z(I_i)$ pour l'indice est calculé comme suit:

$$Z(I_i) = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (21)$$

où:

l'espérance et la variance sont écrits ci-dessous successivement par (22) et (23).

$$E(I_i) = - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j}}{n-1} \quad (22)$$

$$V(I_i) = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad (23)$$

4.2.4.3. L'estimation de la densité du noyau (KDE)

Une autre approche pour visualiser l'association spatiale est basée sur le concept des mesures d'estimation de la densité du noyau (**K**ernel **D**ensity **E**stimation). Elle est l'une des méthodes les plus populaires pour analyser les propriétés de premier ordre d'une distribution d'événement ponctuel (Bailey et Gatrell, 1995; Silverman, 1986). La fonction de densité devient plus lisse avec un rayon de recherche optimale, parce que la régularité de la fonction de densité résultante est une conséquence de la taille du rayon de recherche r (et du noyau k). Par ailleurs, la fonction de densité résultante est estimée en faisant la somme des fonctions de densité sous-jacentes individuelles du noyau à tous les lieux caractérisés par l'attribut de l'étude, et elles sont supposées être lisses et continues, afin de constituer une fonction de densité cumulative lisse.

Il existe plusieurs fonctions de noyau pour interpoler les données aux cellules de la grille. Cependant, l'utilisation de l'estimation de la densité du noyau est adapté à partir de la fonction quadratique du noyau comme décrit par Silverman (1986, p. 76, équation 4.5). La fonction quadratique estime la densité des points sur un réseau est mise en œuvre dans l'environnement ArcGis 10.1 basé sur la formule 24 (Okabe et al 2009 ; David et al , 2013).

$$\lambda_r(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r^2} k\left(\frac{d_{is}}{r}\right) \quad (24)$$

où $\lambda(s)$ est la densité au lieu s , r est la bande passante (rayon), et k est le poids du point i a une distance au lieu s .

Cependant, plusieurs études ont été menées pour déterminer la répartition spatiale des accidents de la route pour l'identification des lieux critiques. Gundogdu (2010) a entrepris une étude sur la ville de Konya en Turquie qui se distingue des autres dans son analyse des «pieces» qui augmente la capacité d'examiner les voies en identifiant les «pièces noires» et les «probables points noirs» les plus dangereux. Le référencement du modèle linéaire (LRM) a été utilisé pour déterminer les points noirs dans cette étude. Un LRM peut être défini comme un mécanisme pour trouver et indiquer l'emplacement d'un point inconnu sur un réseau en se référant à un point connu. L'un des principaux avantages de cette étude est l'utilisation de l'information spatiale et auxiliaire de la zone d'étude. Les mesures locales d'autocorrélations spatiales révèlent des aptitudes pour identifier les accidents de la route liés aux conditions météorologiques, qui sont regroupés en différents endroits selon les conditions météorologiques (Khan et al., 2008), pour décrire les différences interprovinciales des accidents de la circulation et de la mortalité sur les routes en Turquie (Erdogan, 2009). Les exemples récents incluent l'étude de l'intensité de la circulation dans les milieux urbains en utilisant les techniques d'estimation du noyau; Bello (2005) explore une analyse stratifiée des accidents de la ville de Richardson à Dallas aux Etats-Unis d'Amérique. Cette analyse se concentre sur l'identification de la répartition spatiale des accidents de la circulation des écoliers par rapport à d'autres accidents de la circulation. Gundogdu (2009) a développé des méthodes pour obtenir des cartes pour déterminer les zones de trafic chaud à Konya en Turquie pour l'identification des concentrations spatiales des accidents de la route.

Gundogdu (2011) a mené une autre étude pour l'analyse des accidents de la circulation survenus à Konya en Turquie, d'identification des facteurs de causalité et la prise de mesures pour réduire les éventuels accidents. Il utilise la distribution de Poisson dans le but de déterminer les points noirs le long d'une route, les routes doivent être divisées en segment d'un kilomètre. Alors, une probabilité d'accident pour chaque segment individuel a été calculée, les segments supérieurs à la valeur seuil sont caractérisés comme des points noirs. Dans la même étude, Gundogdu (2011) a utilisé la statistique Getis-Ord $G_i^*(d)$ et KDE pour identifier les pièces noires et déterminer les segments critiques de route où les accidents se produisent. Par ailleurs, le processus probable points noirs vise à anticiper les points critiques qui peuvent devenir des points noirs dans le proche avenir. Cependant, il existe une variété d'outils spatiaux développés pour aider à la compréhension des phénomènes spatiaux.

Les approches géostatistiques ont été utilisées avec succès dans différentes régions en raison de la disponibilité du système d'information géographique (SIG) avec des interfaces conviviales de recherche. Abdulvahit et Sebnem (2006) ont proposé un modèle de vulnérabilité, qui estime des zones à risque en utilisant les mesures statistiques locales de Getis-Ord $G_i^*(d)$ et KDE pour révéler la vulnérabilité des personnes et des lieux en raison de transport du pétrole et des accidents à Istanbul. En climatologie, Diodato (2005) a étudié l'influence des paramètres topographiques comme une source d'information auxiliaire pour les variables hydro-climatologiques sur la variabilité spatiale des précipitations dans une région topographique complexe du sud de l'Italie. La prédiction a été produite par un procédé géostatistique multi-variées, connu sous le nom de Krigeage, avec des techniques d'interpolation spatiale pour la prévision de la distribution spatiale de la précipitation. Ainsi, il ya un développement fondamental pour faciliter l'utilisation de l'analyse spatiale dans la recherche appliquée.

Cependant, les mesures géostatistiques spatiales sont fortement dépendantes de la mesure de la proximité spatiale fondée sur les distances entre les USBs. Ces proximités peuvent être très différentes et conditionnent les résultats (Gaudart et al., 2007 ; Flahaut, 2003). Ainsi, l'interprétation des résultats empiriques repose sur une bonne compréhension de la signification et le choix spécifique des principaux paramètres de leurs fonctions. Par ailleurs, il est important d'assurer un certain réalisme dans le choix subjectif de la structure de pondération. Ce processus permet de choisir le niveau de proximité qui est le mieux adapté à la structure spatiale locale des accidents observés. Malgré tout, les analyses géostatistiques sont nécessaires, et sont d'un grand d'intérêt, notamment depuis le développement des Systèmes d' Informations Géographiques.

2.2.5 Les mesures et les indicateurs de la congestion routière urbaine

Les effets de la congestion sont apparents, mais ses causes sont complexes. Le problème de la congestion peut être traité plus efficacement. Il est donc important de mieux comprendre les causes de la congestion, tant sur le plan de l'offre (la quantité d'infrastructures de transport disponible) que sur le plan de la demande (ce qui incite les utilisateurs à utiliser ces infrastructures). Les indicateurs de la congestion ont un rôle important dans le processus décisionnel afin de mieux connaître les défaillances du système de transport routier. A ce titre, plusieurs recherches ont été entreprises sur ce sujet, notamment le Rapport 463 du NCHRP intitulé « Economic implication of congestion », publié par le Transportation Research Board (TRB) en 2001 (NCHRP, 2001). Ce rapport propose une classification exhaustive des mesures et des indicateurs de la congestion routière.

Cependant, la congestion routière est un phénomène général considéré comme une externalité extrêmement coûteuse. Dans le but d'avoir un système de transport urbain durable et de réduire les effets néfastes de la congestion, plusieurs solutions peuvent être envisagées. Alors, la compréhension de la congestion est fondamentale afin que les autorités du transport soient en mesure d'apporter des solutions appropriées à ce problème. Les solutions ne peuvent pas être adoptées d'une manière uniforme sur la totalité d'un réseau routier, d'où la nécessité d'élaborer des indicateurs pour cibler les zones les plus problématiques. Toutefois, le modèle de trafic nécessite de grandes quantités de données dont certaines sont: le temps de parcourir une longueur de route donnée, quelles rues sont étroites et quelles sont les routes à sens unique (Ameyan, 1996).

Le réseau de la circulation peut être décrit par une topologie complexe impliquant des liens, des nœuds, des itinéraires et des changements entre les routes dans les terminaux (Sheffi, 1985). En outre, les modèles de circulation contiennent souvent des différents réseaux, par exemple véhicule, deux roues et les transports publics (Sheffi, 1985 ; Richardson, 2011). Certains de ces réseaux sont entièrement liés (véhicules, bus, vélos et piétons dans la même rue), certains ne sont que partiellement liés (voiture, bus et vélo dans la même rue, mais séparés en voies de bus, des pistes cyclables et des trottoirs) et certains sont totalement séparés (par exemple, autoroutes, voies ferrées, pistes cyclables dans leur propre droit de passage). Un certain déplacement pourrait utiliser le réseau de trafic différemment (par exemple par vélos à la gare, le train à la ville, à pied de l'arrêt de bus, et de marcher au travail) (Ran et Boyce, 1996).

Dans la littérature, on trouve plusieurs définitions de la congestion routière. « *Freeway Management and Operations* », La Federal Highway Administration (FHWA, 2003) a abordé le concept de la congestion et a présenté les événements qui se produisent dans la circulation en tant que

forme de congestion. Dans le même rapport, la FHWA (2003) a présenté la relation fondamentale de la circulation entre les trois variables macroscopiques suivantes (Kalboussi, 2010) :

- La densité (D , Density): elle décrit la répartition des véhicules dans l'espace. Elle correspond au nombre de véhicules par unité de distance.
- Le débit (V , Volume) : il correspond à la répartition des véhicules dans le temps. Il est calculé comme le nombre de véhicules par unité de temps.
- La vitesse moyenne spatiale (S , Speed) : se calcule comme la moyenne des vitesses des véhicules entre x_1 et x_2 , à l'instant t .
- La relation fondamentale entre ces variables est la suivante : $V=D*S$. cette relation est présentée par le diagramme fondamental suivant.

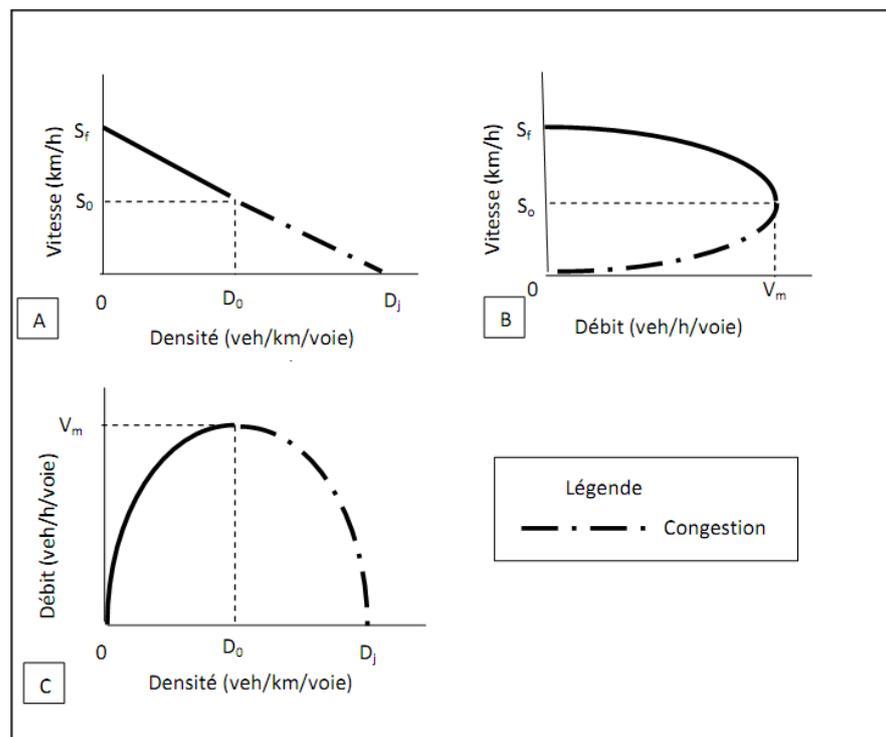


Figure 2.2: Diagramme fondamental : les relations entre la vitesse, la densité et le débit décrit par FHWA (2003) (Kalboussi, 2010).

À partir de la figure 2.2.B, on note que la vitesse est égale à la vitesse libre (S_f) dans la situation d'écoulement libre (lorsqu'il y a peu de circulation sur la route). Lorsque la densité atteint la densité critique (D_0), l'autoroute se rapproche de sa capacité maximale (V_m) et la vitesse d'écoulement du trafic se réduit à (S_0) (voir les figures 2.2.B et 2.2.C). Lorsque la densité atteint la densité de

congestion D_j , le débit et la vitesse s'annulent (file d'attente) (voir la figure 2.2.C). La circulation est considérée comme saturée lorsque les densités sont supérieures à la densité critique.

Nous pouvons, distinguer trois grandes catégories de facteurs de causalité de la congestion du trafic routier urbain ; les facteurs au niveau microscopiques décrivent à la fois le comportement espace-temps des entités (véhicules / conducteurs) du système, ainsi que leurs interactions à un niveau de détail plus élevé (individuellement). Les facteurs au niveau macroscopiques se rapportent à la demande de la circulation ; le débit, la vitesse, les manœuvres des véhicules individuels etc.. Il ya aussi des facteurs "aléatoires" comme les conditions météorologiques et la visibilité qui peut jouer un rôle dans l'apparition de la congestion. La figure 2.3 montre, un système, comment ses différents facteurs sont liés les uns aux autres pour la propagation de la congestion, et qui ont été éprouvées dans les points suivant (Hoogendoorn et Bovy, 2000a):

1. Les modèles d'activités - eux-mêmes déterminés par des facteurs démographiques, sociaux et économiques ainsi que l'utilisation des espaces ont un impact sur le comportement de déplacement pour les individus, les ménages et les entreprises.
2. Le comportement des déplacements, à son tour, donne lieu à un niveau de la demande au déplacement qui est étalé dans le temps et l'espace.
3. Cette demande au déplacement conduit à la fois à un niveau général de la fluidité du trafic sur le réseau routier et aux interactions spécifiques de véhicules et de conducteurs sur des segments du réseau routier. Par exemple, au niveau micro, la capacité dynamique de la chaussée est définie par l'interaction de facteurs tels que l'interaction de types de véhicules / gabarits, la vitesse de circulation, les modèles d'entrée et de sortie, les voies de circulation, le comportement des conducteurs, etc. le tout sous l'influence des conditions atmosphériques et du type de route.
4. Lorsque le flux général sur le réseau dépasse la capacité dynamique de liens spécifiques de réseau, la congestion se pose et se propage en amont.
5. Le retour dans le système se produit comme usagers de la route utilisent leur expérience avec la congestion d'adapter leur comportement de déplacement et / ou congestion conduit à des changements à long terme dans les modèles d'activité, laquelle à son tour influencer le comportement de déplacement, la demande, etc ...

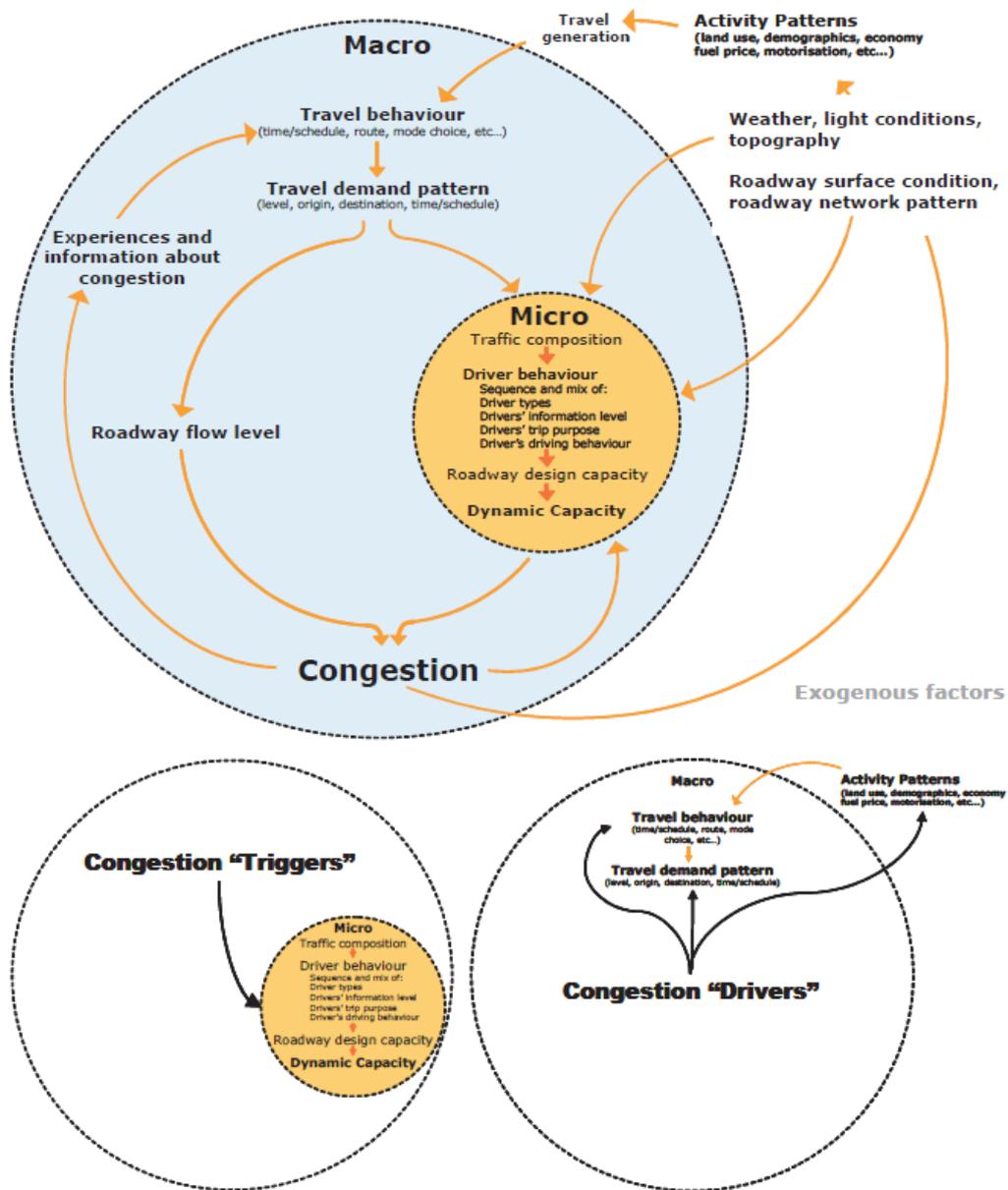


Figure 2.3 : Facteurs au niveau macro et micro affectant la congestion

Nous distinguons aussi dans la figure 2.3, entre la congestion "déclencheur" qui donnent immédiatement lieu à la congestion du trafic au niveau micro, et de la congestion "conducteur" qui opèrent au niveau macro et contribuent à l'incidence de la congestion et de sa gravité et à l'expérience des usagers qui, à leurs tour, alimentent de nouveau le système. Cependant, le système de propagation de la congestion illustré par la figure 2.3, stipule la nécessité de stratégies de gestion de la congestion à plusieurs volets. Les stratégies de gestion du trafic mettant l'accent sur le niveau micro, aura finalement un impact limité si les stratégies de gestion de la congestion ne prennent pas en compte également de causalité et les facteurs qui contribuent à l'échelle macroscopique, et à l'extérieur de l'environnement de transport. Par ailleurs, plusieurs chercheurs ont rejoint le débat sur

l'approche de modélisation macroscopique, la plus appropriée pour une description de la congestion (Hoogendoorn et Bovy, 2000a)

Dans ses travaux de thèse, Kalboussi (2010) a décrit les principaux indicateurs et les mesures stratégiques qui pourraient servir à réduire l'impact de la congestion routière, et qui seront présentés ci-dessous:

2.2.5.1. Les mesures basées sur le temps

Les avantages de ces mesures sont qu'elles peuvent se faire à tout moment et impliquent tous les modes de transport (NCHRP, 2001). En outre, elles trouvent leur essor dans les systèmes intelligents, notamment les systèmes d'informations en temps réel. Le rapport du NCHRP (2001) cite d'autres indicateurs qui découlent de ce type de mesures, tels que:

- Le temps de parcours sur une route est la mesure la plus connue et sert de référence pour les usagers de la route afin d'évaluer la congestion.
- Le temps de parcours origine-destination est le temps estimé pour se déplacer d'une zone d'origine vers une zone de destination pour un réseau routier donné.

2.2.5.2. Les mesures basées sur les débits

Ces mesures sont plus attractives à cause de la grande disponibilité des données concernant le débit du trafic et le nombre de "véhicules-miles-déplacés", noté VMT (NCHRP, 2001). Le débit observé est souvent comparé à l'offre disponible et cette relation est exprimée en fonction du ratio débit-capacité. Tel qu'illustrée par la figure 2.2 ci-dessus, le débit est utilisé avec la densité et la vitesse pour définir l'état de la circulation.

2.2.5.3. Les indices de la congestion

Ces indices décrivent l'état de la congestion avec un niveau d'agrégation élevé (NCHRP, 2001). En effet, ce sont des outils capables d'estimer la congestion globale sur un réseau routier, Parmi ces indices, on cite le RCI (Roadway Congestion Index) qui est développé par Hanks et Lomax en 1992, dans une étude qui porte sur la mobilité urbaine. Dans cette étude, ces derniers ont utilisé simultanément les données des "véhicules-miles déplacés" (VMT) et la longueur de la voie (lane-mile) pour évaluer le niveau de la mobilité urbaine dans cinquante régions des États-Unis. Le RCI (Roadway Congestion Index) est défini comme suit par l'équation 25 :

$$RCI = \frac{\frac{(VMT_{journalier}^{aut})^2}{L_{Voie_{aut}}} + \frac{(VMT_{journalier}^{art})^2}{L_{Voie_{art}}}{(a * VMT_{journalier}^{aut}) + (b * VMT_{journalier}^{art})} \quad (25)$$

Où:

$VMT_{journalier}^{aut}$: est le nombre de véhicules-mile voyagés sur une autoroute par jour.

$VMT_{journalier}^{art}$: est le nombre de véhicules-mile voyagés sur une artère principale par jour.

$L_{Voie_{aut}}$: est la longueur des voies de type autoroute en mile.

$L_{Voie_{art}}$: est la longueur des voies de type artère en mile

a et b sont deux paramètres qui varient selon le type de voie

2.2.5.4. Les mesures de retard

Cet indicateur est utilisé pour décrire l'état de la congestion et pour illustrer la performance du réseau de transport. Le retard est la différence entre le temps de parcours observé et le temps de parcours en écoulement libre (Robitaille et Nguyen, 2003). Outre le temps de retard, le rapport 398 du NCHRP intitulé " Quantifying Congestion ", publié par Transportation Research Board (TRB) en 1997 (NCHRP, 1997), met en avant d'autres mesures de retard et qui sont les suivantes :

- Taux de déplacement réel (Travel rate) : est le rapport entre le temps de déplacement et la longueur du segment parcouru (exprimé en minute par mile)
- Taux de retard (Delay rate) : représente le taux de déplacement perdu créé par la congestion et qui est égal à la différence entre le taux de déplacement réel et le taux de déplacement acceptable (exprimé en minute par mile). On note que le taux de déplacement acceptable est le rapport entre le temps de déplacement dans un écoulement libre et la longueur du segment parcouru.
- Retard total (Total delay) : représente le produit du nombre de véhicules sur le segment routier congestionné et le taux de retard (exprimé en véhicule minute).

2.2.5.5. Les facteurs physiques liés à la congestion routière

De multiples travaux ont été établis pour expliquer la relation entre la congestion et les caractéristiques des routes que ce soit d'une manière implicite ou explicite. La congestion récurrente, telle que mentionnée ci-dessus, est le résultat d'un excès de la demande du transport par rapport à la capacité de la route qui reste la même (FHWA, 2003). La demande de transport dépend du motif de déplacement et les caractéristiques de la zone (zone commerciale, d'habitat, industrielle, etc.). Par ailleurs, la capacité de la route qui représente elle-même une caractéristique de la route, est calculée selon la formule issue du HCM (1997) (l'équation 26) :

$$C_f = C_i * \left(\frac{V}{C}\right) * f_d * f_m \quad (26)$$

Où :

C_i : la capacité horaire dans des conditions idéales

C_f : capacité horaire

V/C : le rapport volume/ capacité

f_d : facteur de réduction de la capacité pour déséquilibre directionnel

f_m : facteur de réduction pour voie et accotements étroits.

À partir de cette formule, on peut conclure que la capacité dépend de quatre facteurs physiques de la route, soit la largeur de l'accotement, le nombre de voies, le sens de circulation et la largeur de la voie. Le HCM a proposé en 2000 une nouvelle formule pour calculer la capacité en ajoutant d'autres facteurs, outre ceux présentés en 1997, tels que les facteurs de la composition de la circulation et du conflit de circulation, la présence de stationnement, etc. De plus, certains indicateurs de la congestion sont calculés en fonction de facteurs physiques des segments routiers, notamment le RCI « Road Congestion Index » issu de Hanks et Lomax (1992). En effet, ces derniers ont exprimé cet indicateur en fonction de la longueur et le type de voie, en distinguant entre le débit du trafic sur une autoroute et celui sur une artère principale. En outre, les caractéristiques des routes ont été mises en avant dans des études d'accidents qui représentent l'une des causes de la congestion non récurrente. Parmi ces études, on cite celle de Wang et al. (2009) qui porte sur les effets de la congestion sur les accidents routiers. Les facteurs physiques qui ont été évoqués sont la longueur de la route, le sens de déplacement, le nombre de voies et la géométrie de la route.

La vitesse autorisée représente aussi un facteur pour caractériser la congestion. Dans certaines études, la congestion surviendrait lorsque la vitesse (observée) ne dépasse pas un certain seuil de la vitesse autorisée. Dans le rapport «Congestion and Accident Risk », publié par le Department for Transport (2003), un segment routier urbain est considéré congestionné si la vitesse moyenne est inférieure à 50% de la vitesse autorisée. Sur le réseau routier urbain, les conducteurs se trouvent, dans certains cas, être obligés de réduire leur vitesse et par conséquent le temps de parcours augmente. En effet, ils doivent s'arrêter ou diminuer leur vitesse dans les intersections ou dans les zones à vitesse limitée, notamment à côté des écoles et des zones commerciales (Archer et al, 2008).

2.2.5.5.1. Le risque d'embouteillages (FK)

Le risque d'embouteillages indique l'importance du risque d'embouteillages sur une portion de route pendant l'heure de la journée étudiée.

Le risque d'embouteillages FK pour une portion de route i et une heure h est calculé comme suit par (27) :

$$FK_{i,h} = \frac{\sum_{d=1}^D \delta_d}{D} \quad (27)$$

Où

δ_d indique s'il y a ou non un embouteillage sur la portion de route i pendant l'heure h et le jour d .

2.2.5.6. Système d'analyse d'un réseau urbain

L'application des méthodes d'analyse de réseau urbains et les indices de mesure ont été développés il ya des décennies (Tabor, 1976 ; Hillier, 1996). La recherche a montré que les mesures d'analyse de réseau peuvent être des prédicateurs utiles pour un certain nombre de phénomènes urbains intéressants. Ils ont été utiles pour expliquer l'importance de jonctions notamment dans les réseaux de transport (Haggett et Chorley, 1969). Aussi, pour estimer le flux de la circulation des piétons sur les rues d'une ville (Hillier, 1987), et de savoir la répartition des établissements de vente au détail et de services dans les environnements urbains (Porta et al, 2005 ; Sevtsuk, 2010). Comme les données géographiques envahissants sont désormais disponibles, de nouveaux outils et facilement accessibles sont nécessaires pour rendre l'analyse de réseau disponible aux analystes spatiales dans toutes les disciplines.

Par ailleurs, plusieurs chercheurs ont développé de nouvelles boîtes à outils open-source pour l'analyse de réseau spatial dans ArcGIS. La boîte à outils de SANET développé par Okabe and Sugihara (2012), et d'autres applications intégrées personnalisées pour les SIG (Miller et Wu, 2000 ; Jiang et Claramunt, 2002). Plusieurs programmes d'analyse de réseau spatiale ont également été développés comme des paquetages propriétaires autonomes (Alasdair, 2001). Ainsi, un SIG est un outil pour traiter la plupart de ce types de données car il peut faciliter le processus de travail et améliorer le contrôle de qualité des résultats (Heywood , 1999).

Sevtsuk et Mekonnen (2012) ont développé une boîte à outils d'analyse de réseau urbain (Urban Network Analysis (UNA)), comprend un certain nombre de fonctionnalités offrant un cadre de représentation optimal, de nouveaux indices de réseau, et en faisant la mesure de la centralité de réseau accessible à un large public via une boîte à outils open-source intégré pour le logiciel ArcGIS 10. La boîte à outils d'UNA introduit deux modifications importantes à la représentation du réseau de l'environnement bâti. Sevtsuk et Mekonnen (2012) ont ajouté des bâtiments (ou d'autres cas de localisation, telles que des parcelles de terre, des stations de transport en commun, etc.) à la représentation, en adoptant une représentation tripartite qui se compose de trois éléments de base: *bords*, représentant les chemins le long de laquelle les usagers peuvent se déplacer; *nœuds*, représentant les intersections où deux ou plusieurs bords se croisent; et les *bâtiments*, représentant les endroits où la circulation des rues conclut environnements intérieurs ou vice versa . Cette représentation est idéalement adaptée pour l'extension ArcGIS Network Analyst, où les origines et les destinations des chemins de déplacement sont représentées avec des points géographiquement positionné. Ce cadre de représentation du réseau est illustré à la figure 2.4. Le côté gauche de la figure présente un fragment d'un quartier.

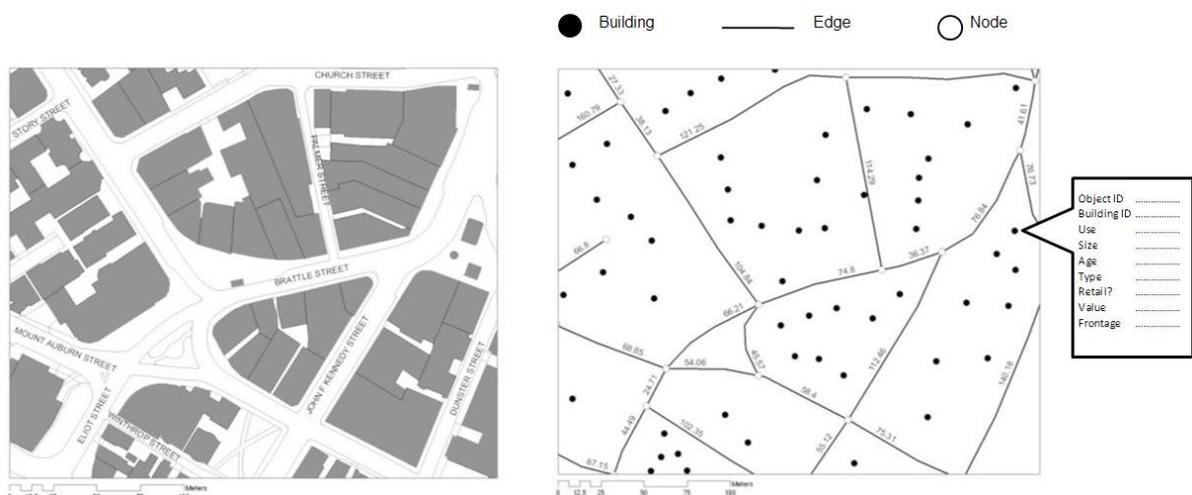


Figure 2.4. Gauche: Plan d'Harvard Square à Cambridge, MA.
Droite: représentation graphique du même dessin en plan

La boîte à outils d'analyse de réseau urbain peut être utilisée pour calculer cinq types de mesures de centralité sur les réseaux spatiales différents - *Atteindre*, *indice de gravité*, *Intermédiarité*, *Proximité*, et *Rectitude (Linéarité)* - comme indiqué dans l'interface utilisateur graphique de la boîte à outils à la figure 2.5.

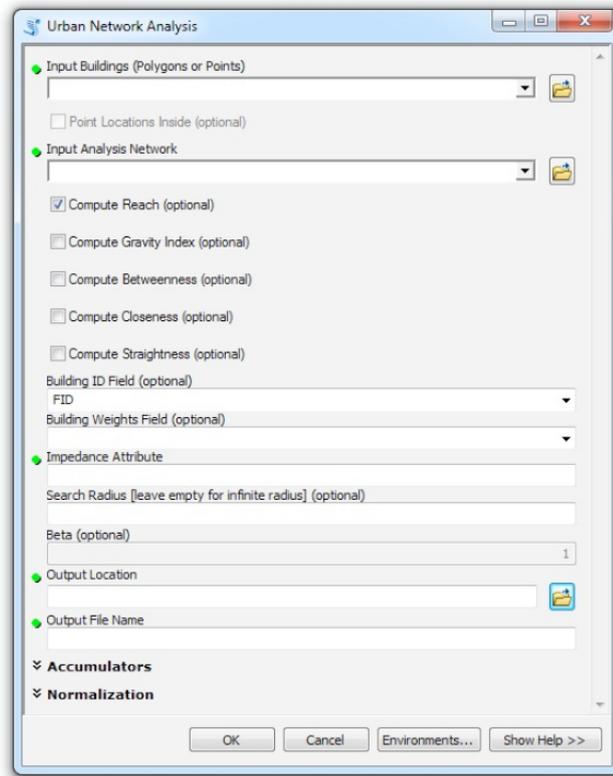


Figure 2.5. L'interface utilisateur graphique de la boîte à outils UNA

La boîte à outils d'UNA introduit une représentation pondérée des éléments de réseaux spatiaux. Chaque bâtiment obtient un ensemble d'attributs qui relie le bâtiment dans le graphique avec les véritables caractéristiques de la structure correspondante dans la ville. Les attributs peuvent prendre toutes les propriétés mesurables des structures autour d'eux: leur taille, l'établissement mixe, nombre de résidents ou des emplois, hauteur, etc. La représentation pondérée des bâtiments ouvre ainsi une gamme d'options pour l'étude des différents types de relations spatiales entre les bâtiments dans un réseau routier de la ville.

2.2.5.6.1. La terminologie du réseau urbain

Un réseau est constitué de liens et de nœuds. Dans les applications de transport, un lien représente généralement un moyen de déplacement d'un point à un autre: un segment de route entre deux intersections. Dans la planification des transports et de l'analyse de réseau, il est habituel d'utiliser les Zones d'Analyse de Trafic (ZAT), à partir de / à laquelle les déplacements sont supposés provenir (origines) ou destinés (destinations). En réalité, les origines et les destinations de déplacement sont beaucoup plus distribuées et peuvent se disperser à travers d'une zone d'analyse de trafic. L'utilisation de ZATs est une question de nécessité, parce que, bien que nous puissions être en mesure de savoir où précisément un déplacement provient et se dirige vers une enquête détaillée, ces origines de déplacements individuels et destinations sont agrégées dans les zones de circulation. Le centre de gravité dans chaque zone de trafic représente ainsi une agrégation de toutes les origines réelles et destinations à l'intérieur de sa zone.

Les liens sont souvent exprimées par les nœuds qu'ils relient comme (i, j) où i est le nœud en amont (parfois appelé le nœud de queue) et j est le nœud en aval (également connu sous le nœud de tête). Chaque lien est associé à son débit, notée x_{ij} , représentant le nombre total de véhicules qui veulent utiliser le lien (i, j) au cours de la période d'analyse. Le débit est également connu comme le volume ou la demande.

Le temps de déplacement sur le lien (i, j) est exprimée en t_{ij} , et pour représenter la congestion, l'expression du déplacement en fonction de x_{ij} , ainsi, nous écrivons $t_{ij}(x_{ij})$ (l'équation 28). En raison des effets de congestion, t_{ij} est typiquement en hausse et convexe, cependant, ses deux premières dérivés sont typiquement positifs. La fonction utilisée pour lier la demande au temps de déplacement est appelé une fonction de performances de liaison.

$$t_{ij}(x_{ij}) = t_{ij}^0 \left(1 + \alpha \left(\frac{x_{ij}}{c_{ij}} \right)^\beta \right) \quad (28)$$

Où

t_{ij}^0 est le temps déplacement "à circulation libre" (le temps de déplacement sans congestion), C_{ij} est la capacité pratique (généralement la valeur du flux qui se traduit par un niveau de service de C ou D), et α et β sont des paramètres qui peuvent être calibrés pour les données. $\alpha = 0,15$ et $\beta = 4$ sont couramment utilisés si aucun étalonnage est effectué (Sheffi, 1985).

Un chemin π est une séquence de liens adjacents reliant deux nœuds i_0 et i_n . Nous pouvons soit écrire π comme un ensemble ordonné de nœuds passé sur le chemin avec la notation $[i_0, i_1, i_2, i_3, \dots, i_{n-1}, i_n]$.

2.3 Conclusion

Le succès des programmes d'amélioration de la sécurité routière consiste à diminuer la fréquence des accidents, qui dépend des méthodes utilisées dans les analyses des accidents (Savas Durduran, 2010). Cette compréhension est une étape importante et nécessaire pour intégrer des recherches sur le transport durable qui sont devenues un objectif important dans la planification des transports afin de déterminer l'ensemble des impacts liés au développement durable.

Néanmoins, la validité des résultats de la modélisation est toujours critique sur la disponibilité et la qualité des données d'accidents (Becky, 2006). Ainsi, il est essentiel d'évaluer et de valider la géo-localisation spatiale des accidents de la route avant d'effectuer l'analyse spatiale scientifique. À titre d'exemple, Khan et al. (2004) ont remarqués que le plus gros problème avec la qualité des données d'accidents à Abu Dhabi a été la sous-estimation dans l'enregistrement des lieux exacts des accidents de la route. Alors que, l'application des approches d'analyses spatiales requiert un emplacement précis de chaque lieu d'accident, cela n'est pas toujours le cas dans la pratique (Flahaut, 2003).

Erdogan (2008) a démontré aussi que le succès des analyses dépend largement sur l'exactitude, la fiabilité et l'exhaustivité des rapports d'accident de la circulation. Par ailleurs, Saint-Gerand (2005) suggère que l'utilisation d'un SIG à des fins d'aide à la décision et de compréhension de la complexité spatiale du risque routier, demande au préalable d'identifier les données nécessaires et leur mode d'organisation au sein de la Geodatabase. L'élaboration d'un Modèle Conceptuel de Données (MCD) consiste à faire l'inventaire le plus exhaustif possible, aux échelles spatiales et thématiques pertinentes pour le sujet traité. Par conséquent, le résultat et la fiabilité de la prévision d'accident de la route ont une signification importante pour l'amélioration de la gestion de la sécurité du trafic (Wang Hao et al, 2011).

Chapitre 3 :

*Construction du modèle logique flou :
Prédire le degré d'exposition au risque
d'accidents*

3.1 Introduction

En Algérie, selon la définition établie par la gendarmerie nationale, les lieux dangereux sur un réseau routier rural, représentés par des points noirs, sont constitués par les segments de route de 200 mètres qui comptabilisent au moins 5 accidents avec lésions corporelles pendant une année. Cependant, les paramètres de distance et de temps ne sont pas vraiment statistiquement justifiés; ils sont fondés davantage sur l'initiation que sur des éléments statistiques. Par ailleurs, cette définition ne tien pas en compte la migration des accidents dans le temps et l'espace (Flahaut et al. 2003). Le nombre d'accidents observés en un lieu donné est soumis à des variations aléatoires importantes. Par conséquent, dans un segment routier, une réduction ou une augmentation significative du nombre d'accidents peut être observée au cours d'une période, car il peut résulter d'une fluctuation aléatoire autour du nombre moyen annuel d'accidents observés.

Cette disposition, nous a permis de développer la réflexion d'identifier de façon plus significative les lieux d'accidents du réseau routier, qui seraient alors représentés sous la forme de zones noires. Par ailleurs, chaque zone noire, dans l'espace d'étude, se caractérise par son lieu, l'intensité du caractère dangereux et sa longueur ?

Il est donc question de mettre au point une technique qui estime correctement les lieux à risque d'accident avec le niveau de (in)sécurité et proposer des solutions pour arriver à réduire ce risque en se basant sur les conditions locales de la circulation propre à l'Algérie. Afin de répondre à ces questions, l'approche logique floue doit explicitement tenir compte de la composante spatiale de l'environnement routier, en vue de déterminer les concentrations spatiales des accidents de la route communément appelées les zones noires. La classification de la dangerosité des zones noires, l'intensité, est déterminée par la valeur du degré d'exposition au risque d'accidents calculé pour chaque kilomètre du réseau routier. Ainsi, une zone noire est définie comme étant un segment d'un kilomètre ou d'un ensemble de kilomètres contigus.

Dans des contextes d'ingénierie actuels, la mesure du risque est devenue une préoccupation importante couvrant plusieurs domaines de recherche. En matière de sécurité routière, la gestion du risque est la façon de conduire la politique d'un processus d'évaluation des risques qui identifie les principales caractéristiques des risques routiers et de leur degré d'acceptabilité (Chapelon et Lassarre, 2010). Les coûts sociaux et économiques liés aux accidents de la route ont incité les autorités ainsi que les chercheurs à établir des programmes de gestion de la sécurité qui visent à améliorer continuellement la performance de la sécurité routière (Sawalha et Sayed, 2006). La complexité à

déterminer les causes exactes des accidents de la route constitue un obstacle important, parce que les accidents sont le résultat d'un système complexe: conducteur-véhicule-environnement (Andrescu et Frost, 1998). En outre, les précautions appropriées à prendre afin de prévenir les accidents ne peuvent pas être déterminés avant que les sections dangereuses n'aient été identifiées avec précision (Savas Durduran, 2010). L'identification et l'analyse des segments de routes dangereuses constituent donc une étape importante dans la prévention des accidents de la circulation routière (Flahaut et al. 2003; Gundogdu, 2010).

La logique floue est également considérée comme un outil d'aide à la décision pour la recherche et le développement (Bouchon-Meunier et Zadeh 1975). Cependant, pour les systèmes de contrôle qui sont plus intelligents et surtout plus efficaces, un Système d'inférence Flou (SIF) est basé sur le concept fondamental du raisonnement développé en base de données observées, et une approche linguistique fondée sur des règles complètement qualitatives plutôt que mathématiques (Pundaleek et al. 2010; Ramazi et Amini, 2013). En effet, ces règles ont la forme IF-THEN, basée sur la connaissance intuitive des experts et des opérateurs dans le domaine. Ainsi, le SIF améliore le comportement dynamique du système afin qu'il reflète la réalité le plus fidèlement possible.

Ce chapitre combine l'approche logique floue avec la méthode de cartographie pour expliquer pourquoi les accidents sont plus fréquents dans certains segments du réseau routier que dans d'autres. Dans cette étude, la logique floue a été utilisée pour déterminer «le degré d'exposition au risque des accidents de la route». La logique floue, sur la base du modèle Mamdani peut être défini comme un processus pour identifier les segments dangereux de route le long d'un réseau en se référant à des caractéristiques environnementales les plus pertinentes du réseau routier.

3.2 Matériel et Méthodes

3.2.1 Zone d'étude et données

Afin de souligner le principe fondamental de la logique floue, nous présentons un système qui peut prédire "le degré d'exposition au risque d'accidents de la route" sur un réseau. L'étude a été menée sur le réseau routier national dans la région rurale de la wilaya de Mascara dans le nord-ouest de l'Algérie, il est situé entre les parallèles 35°0'38 "et 35°47'5" de latitude nord et 0°31'18 "ouest et 0°54'3" longitudes est. Ce réseau, qui mesure 560 km est considéré comme un relais en raison de son emplacement, car il est traversé par les routes principales, comme illustré sur la figure. 1.

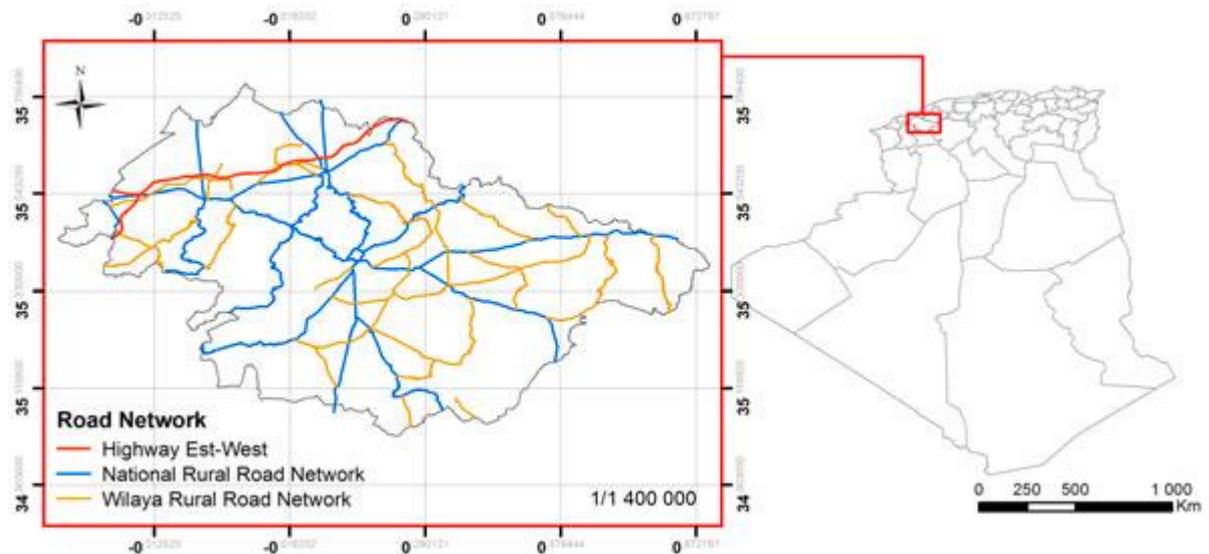


Figure 3.1 : Situation de la zone d'étude

3.2.2 L'application et les résultats du modèle flou

L'étude a porté sur les facteurs qui causent les accidents de la route. Elle n'a pas été centrée sur le comportement des conducteurs ou sur les spécifications des véhicules, mais plutôt sur les critères les plus pertinents décrivant les caractéristiques environnementales du réseau routier pour prédire " *le degré d'exposition au risque d'accident de la route*". En outre, les caractéristiques physiques de l'infrastructure routière et les caractéristiques environnementales locales jouent un rôle important dans l'explication des concentrations spatiales des accidents de la route sous la forme de zones noires (Karlaftis, 2002 ; Flahaut, 2004). Ces critères peuvent être divisés en quatre catégories (tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Description des critères des accidents de la route

	Catégories	Critères	Prédicats
Input	Aspect fonctionnel de la route	Nature d'accès	-RN, CW, CC, PISTE
		Séparation	-terre plein, ligne continue, ligne discontinue, béton
		Rayon du virage.	-faible, moyen, grand
		Largeur de la chaussée	-faible, moyenne, grande
Nature des pentes.		-faible, moyenne, grande	
Intersection		- O, +, T, Y	
Revêtement		-mauvais, moyen, bien	
Signalisation		-mauvaise, moyenne, bien	
Visibilité		--mauvaise, moyenne, bien	
	Environnement de la route	Agglomération	-faible, moyenne, grande
	Aménagement de la route	Glissière de sécurité	-métallique, béton, rien
		Accotements	-faible, moyen, moyen_grand, grand
	Circulation	Eclairage	--mauvais, moyen, bien
		types de véhicules	-faible, faible_important, Important, très important
Output		débit	--faible, moyen, grand
		Degrés	-très faible, faible, moyen, fort, très fort

Note: RN : Route Nationale, CW : Chemin de Wilaya, CC : Chemin communal, O : Carrefour Giratoire, + : intersection en croix, T = intersection en T et Y : intersection en Y.

Nous avons donc sélectionné quinze critères pour chaque segment d'un kilomètre du réseau routier étudié. Ces critères ont été utilisés comme des variables d'entrée du système flou et elles ont été obtenues de la Direction des Travaux Publics en charge du suivi et de l'entretien du réseau routier de la Wilaya Mascara pour l'année 2011.

Tout d'abord, nous avons attribué une valeur numérique, un quantificateur flou pour chacun des quinze critères basé sur la fuzzification qui consiste à établir les fonctions d'appartenance des variables linguistiques du système flou. En règle générale, les prédicats pour chaque critère sont des variables linguistiques caractérisées par une fonction d'appartenance de type trapézoïdale. Ainsi, le degré d'appartenance de la valeur linguistique est évalué pour les variables d'entrée à des ensembles flous. Simultanément, nous avons établi les quantificateurs flous et des fonctions d'appartenance pour la sortie du système. Nous avons choisi cinq intervalles flous et des fonctions d'appartenance de type trapézoïdal représentant l'univers du discours de la variable linguistique " degré d'exposition au risque d'accidents de la route" qui va de 0 à 3, et les prédicats "très faible, faible, moyenne, fort et très fort ". Il n'y a pas d'algorithme distinct qui peut être utilisé pour obtenir la fonction de composition;

plutôt elle est obtenue par l'expérience, l'innovation de l'auteur, et des idées personnelles (Ramazi et Amini, 2013).

Toutefois, l'évaluation du degré de risque est justifiée par le caractère imprécis des critères et de la nécessité de gérer les données vagues et ambiguës (Guettouche, 2012). Nous avons ensuite établi une combinaison fondée sur la base des règles. Le système flou a donc fait l'objet d'une série de règles qui définissent la réponse du système de sortie désirée sur la base de l'entrée du système. C'est l'un des avantages de la logique floue, où la structure du modèle peut être expliquée par l'inspection des règles. Au total, 35 règles IF-THEN ont été utilisées pour construire la combinaison basée sur des règles floues pour le système proposé. Ces règles ont été établies à la suite d'une discussion approfondie avec des experts en ingénierie du trafic. Özger et Yildinm (2009) ont fourni une description de la structure des règles floues, et ont indiqué que le nombre de règles est fonction de la nature du problème concerné. Pour les systèmes d'inférence floue (SIF), il existe principalement deux modèles; modèle Mamdani (Mamdani et Assilian, 1975) et modèle Sugeno (Takagi et Sugeno, 1985). La différence entre ces deux approches réside dans la partie résultante, où les fonctions d'appartenance floue sont utilisées linéaires en Mamdani, ou des fonctions constantes sont utilisées en Sugeno. Le tableau 3.2 montre un échantillon de ces règles.

Tableau 3.2 : Exemples de sélection des règles

IF	THEN
(Agglomération est faible) et (débit est important) et (types de véhicules is très_mportant) et (visibilité est mauvaise)	Degré est très fort
(débit est important) et (types des véhicules est important) et (séparation est ligne discontinue) et (accotements sont moyens) et (virage est moyen) et (largeur de la chaussée est moyenne)	Degré est fort
(Agglomération est moyenne) et (débit est moyen) et (type de véhicule est faible_mportant) et (glissière de sécurité est métallique) et (visibilité est bien)	Degré est moyen
(débit est faible) et (type de véhicule est faible_important) et (séparation est terre plein) et (glissière de sécurité est métallique) et (intersection est O) and (éclairage est bien) et (visibilité est bien)	Degré est faible
(débit est faible) et (glissière de sécurité est béton) et (accotements sont grandes) et (virage est grand) et (largeur est grande) and (revêtement est bien) et (signalisation est bien) et (éclairage est bien) et (visibilité est moyenne)	Degré est très faible

En outre, nous avons cherché à déterminer le degré de vérité de chaque conséquence, donc il faut assurer la pertinence de la fonction d'appartenance et de ses conséquences. Les règles de conclusion des ensembles flous ont été formulées en effectuant le "minimum" entre les degrés d'appartenance. L'ensemble flou de la sortie a été ensuite construit par l'agrégation des conclusions floues obtenues par chacune des règles pour cette sortie. L'agrégation est calculé le "maximum" pour établir les fonctions d'appartenance qu'en résulte pour chaque règle. A la fin de l'inférence, l'ensemble flou de sortie a été déterminée.

Enfin, nous avons utilisé l'ensemble flou de la sortie pour obtenir des informations précises sur la façon de mesurer "le degré d'exposition au risque d'accidents de la route". Cette opération a été basée sur la combinaison de systèmes flous en appliquant la méthode du centroïde de Mamdani approprié dans la défuzzification pour obtenir une valeur nette approximatif du centre de gravité de la distribution pour les ensembles flous. La boîte outils de logique floue du Matlab 7.12.0.635 a été utilisée pour calculer la valeur nette des ensembles flous pour chaque sortie floue sur la base des règles établies. La figure 3 montre la structure générale du SIF qui se compose de quinze critères d'entrée menant à une sortie qui a été traduit en valeurs floues. Par conséquent, le système flou impose un degré pour chaque segment d'un kilomètre.

Les résultats du système pour prédire le "degré d'exposition au risque d'accidents de la route" sont présentés dans la figure 3.4. La cartographie a été établie à l'aide d'un SIG mis en œuvre dans l'environnement ESRI ArcGIS 10.1. Le SIG est utilisé pour une analyse détaillée du contexte de décision spatiale (Abdullahi et al. 2013). Cette étude montre que le SIG et le raisonnement flou peuvent être effectivement appliqués à la modélisation d'identification des segments de route dangereux (Effati et al. 2012). L'utilité de la logique floue dans un processus de cartographie est de fournir une structure par laquelle différentes informations de cartographie peut être jugé (White et al. 2002). Par conséquent, il est important de classer les segments de route en fonction de l'intensité de leur caractère dangereux, et de montrer un plus grand intérêt pour ceux qui sont les plus dangereux (Brijs et al. 2006). Les cartes sont considérées donc comme un guide indispensable pour les résultats obtenus par le modèle développé qui fournit une aide très intéressante (Gundogdu, 2010).

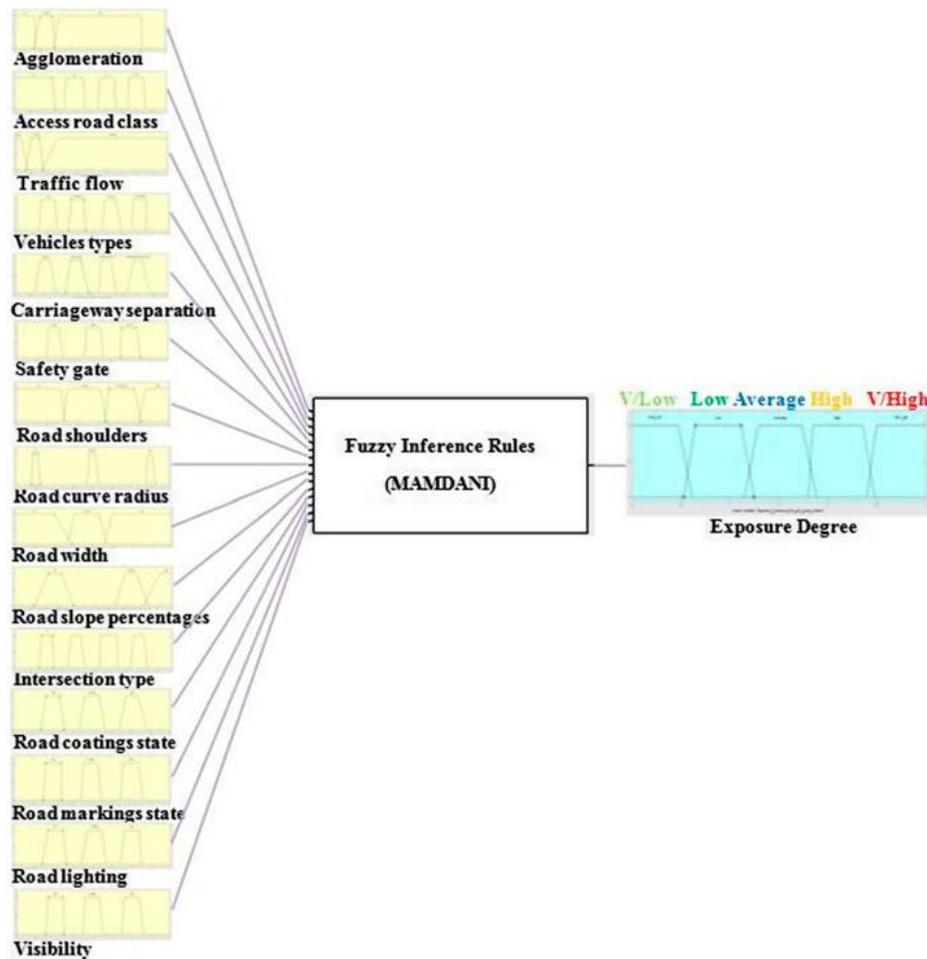


Figure 3.3 : Structure du Système d'Inférence Floue

Basé sur la figure 3.4, les résultats ont été divisés en trois groupes de dangerosité sur cinq en ce qui concerne les valeurs nettes de sortie (degrés). Les degrés ont été identifiés comme étant moyen, fort et très fort risque. En outre, les résultats montrent que les segments avec des degrés d'exposition aux risques d'accidents faible et très faible n'ont pas été identifiés. Notre évaluation a révélé que près de 72,32% du réseau peut être décrit comme moyennement dangereux et 26,60% est très dangereux. Ces risques sont répartis sur les segments du réseau qui se caractérisent, en général, par un grand nombre d'intersections de différentes caractéristiques géométriques en particulier les intersections en forme de Y, et les principales routes qui s'étendent sur une vaste zone en dehors de la wilaya de Mascara sur lequel les activités humaines affectent la demande de déplacement. Aussi nous sommes rapidement rendu compte que la majorité des segments à haut risque sont reliés à l'intensité du trafic (débit) et des caractéristiques physiques différentes de véhicules (types de véhicules) roulant sur ces routes qui se multiplient des effets différents sur le trafic, en particulier l'excès de vitesse.

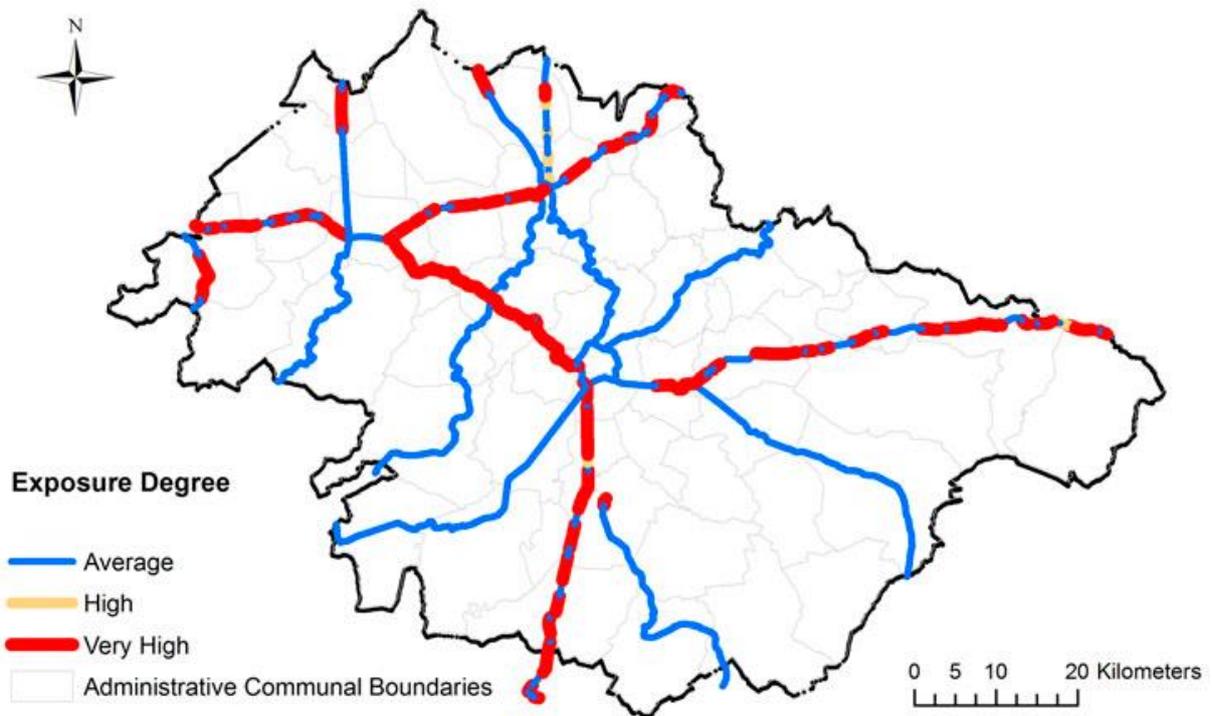


Figure 3.4 : La distribution spatiale des degrés d'exposition au risque d'accidents de la route

De cette analyse il ressort que, pratiquement, les types de véhicules sont restés à peu près identiques sur tout le réseau étudié avec une variabilité dans la densité de circulation (flux), dont il s'agit des véhicules particuliers (VP), les véhicules utilitaires légers (VUL), les autocars et les poids lourds, ceci va induit que les types de véhicules vont admettre un prédicat très important. À l'exception de quelques itinéraires qui conduisent à de petites agglomérations éloignées et qu'elles seront desservis que par des autocars, des véhicules particuliers et des véhicules utilitaires légers, qui vont admettre un prédicat important. Sachant que, comme il a été mentionné ci-dessus, le critère types de véhicules a été classé en quatre intervalles et des fonctions de type trapézoïdal d'appartenance floue représentant des prédicats "très faible, faible, important et très important ". Ce mode de classement nous a permis d'établir notre base de règles selon les directives des experts. Par ailleurs, nous n'avons pas opté pour les deux premiers cas à savoir très faible et faible parce que cette situation est inexistante en réalité à savoir la circulation uniquement des véhicules particuliers (très faible) ou l'association avec les véhicules utilitaires légers (faible).

En Algérie, ce qui concerne le milieu rural, les transports routiers collectifs de personnes en autocars et de marchandise par des poids lourds constituent un acteur majeur dans l'économie du pays. Ainsi, la majorité des déplacements sont pratiqués quotidiennement à usage professionnels. Par ailleurs, le critère types de véhicules est consacré aux facteurs humains, ainsi il montre la

complexité de la conduite des véhicules de transport collectif de personnes et de marchandises conjointement avec les véhicules légers. Cette complexité est due à l'environnement routier des conducteurs décrit par les critères sélectionnés dans cette étude, qui peut devenir hostile et stressant impliquant de fortes contraintes sur le comportement des conducteurs et augmente le risque d'accidents. Aussi, Il a été constaté qu'en matière d'accidentologie, le nombre de victimes impliquées par les conducteurs de poids lourds et les autocars sont relativement considérables comparativement avec les véhicules légers, car ils aboutissent à un taux de gravité plus important, avec un grand nombre de victimes en un seul accident, avec des conséquences souvent graves ou mortelles, ceci est à mettre en relation avec la puissance du véhicule, son gabarit, son poids, sa dimension et sa structure font beaucoup augmenter les taux des blessés et des tués par rapport à des collisions entre les véhicules légers. Aussi, même si les conducteurs des poids lourds et des autocars ont une appréhension correcte du risque pour les autres conducteurs, mais ils n'en ont pas de même de leur appréhension du risque qu'encourent les conducteurs des véhicules légers. L'incompatibilité de taille entre les différents types de véhicules constitue donc un facteur de risque important des accidents de la route. Ainsi, la structure d'un véhicule et le flux de circulation peuvent influencer considérablement le degré d'exposition au risque d'accidents.

Par ailleurs, les caractéristiques physiques de la chaussée influent relativement sur le comportement des conducteurs : l'état de la chaussée, la largeur, le rayon de virage, la pente et la visibilité parce que les conducteurs réagissent constamment aux éléments du milieu routiers. Par exemple, lorsque la route est étroite avec un flux important, les conducteurs vont conduire à faible vitesse ou ont de la difficulté d'établir des manœuvres de dépassement. Néanmoins, il n'est pas surprenant que quelques conducteurs tendent à établir des manœuvres de dépassement dangereuses, et le risque d'exposition aux accidents sera multiplié, et surtout au niveau des virages. Ainsi, il est nécessaire de prévoir des surlargeurs de virage pour les petits rayons (petites courbures). Ceci permettra, notamment aux poids lourds, de ne pas sortir de leur voie et assurera des conditions de visibilité satisfaisantes. Aussi, dans certaines routes, la qualité de marquage doit être lisible et adaptée à la géométrie de la voirie qui va pousser à rassembler la cohésion de la majorité des conducteurs, car ce genre de réflexions leur permet de circuler avec un niveau de sécurité approprié à leur environnement et ceci surtout pour ne pas nuire à la crédibilité du marquage totale du réseau. Par conséquent, les conducteurs vont finalement développer un ensemble d'automatismes dans leurs conduites, qu'ils utilisent pour circuler avec un niveau de sécurité approprié à leur l'environnement routier.

Le système de prédiction générée par les règles floues propose une explication des raisons pour lesquelles l'état général du réseau national des routes rurales nécessite une intervention rapide des autorités locales afin d'atténuer le risque par le réaménagement, en particulier dans les segments avec un degré fort et très fort d'exposition au risque d'accident. Autres que la construction de plusieurs nouvelles routes, ce qui pourrait impliquer généralement l'élargissement des routes et des accotements qui ont tendance à «ajuster» la vitesse du véhicule et améliorer la mobilité de flux en termes d'augmentation des sentiments de la sécurité routière et l'amélioration de la fluidité du trafic.

Afin d'évaluer et vérifier si le système mis au point est fiable ou non, nous avons comparé nos résultats avec les lieux des accidents de la route qui avaient été observés (Figure 3.5). Toutefois, le nombre annuel d'accidents sur un segment de route varie d'une année à l'autre et c'est un facteur important dans l'analyse des accidents. Cela peut s'expliquer par le risque d'accident inhérent à un segment de route. Il est donc très important que la période d'étude soit suffisamment longue pour s'assurer que les échantillons d'accidents soient représentatifs. En règle générale, une période de trois à cinq ans est suffisante pour assurer la fiabilité des résultats (Cheng et Washington 2005; Moons et al. 2009). Nous avons donc mis l'accent sur une période de trois ans (2008-2010).

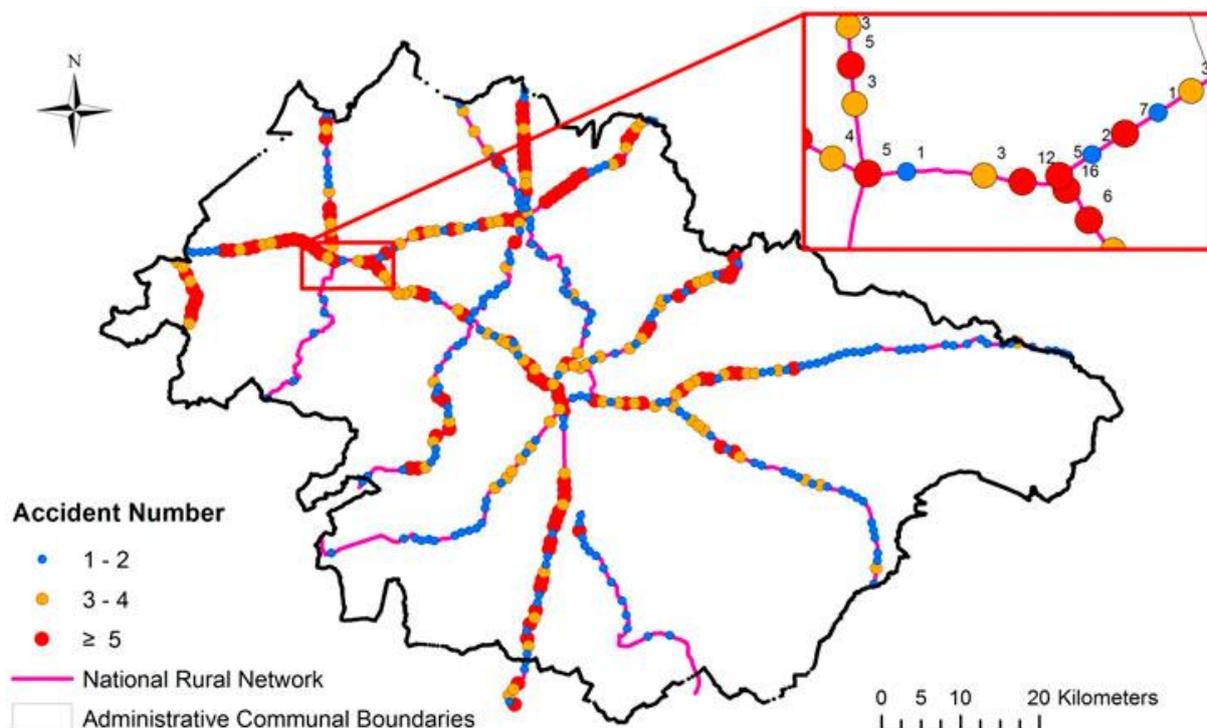


Figure 3.5 : La distribution spatiale des accidents de la route observés

Il est intéressant de noter que la comparaison est sensiblement concordante (Yin et al. 2002). On peut en déduire qu'il serait nécessaire de prendre des mesures pour réduire le nombre d'accidents. Néanmoins, notre étude montre clairement que l'utilisation du système d'aide à la décision floue fournit aux décideurs locaux avec une alternative importante, au bon moment, ce qui peut leur permettre de prendre de meilleures décisions. Ainsi, le système proposé montre que l'approche basée sur la logique floue a un potentiel considérable et peut être utilisée dans le développement d'un système de gestion du trafic pour les décideurs.

3.3 Conclusion et Perspectives

Dans cette recherche, nous avons présenté une contribution spécifique au domaine de la recherche de la sécurité routière pour prédire le risque d'accident de la route à travers une modélisation selon la logique floue. La modélisation est basée sur l'effet des facteurs d'environnement de voirie sur le réseau routier, plutôt que sur les conducteurs et les véhicules. Toutefois, afin de mieux optimiser les performances de notre système d'inférence, nous avons choisi de modifier les fonctions d'appartenance pour répondre à la robustesse du système flou en intégrant des quantificateurs flous à des fonctions d'appartenance de types trapézoïdales. Il est important de noter que la base de règles a rencontré une satisfaction significative dès les premiers tests. Le système valide le comportement qui a été fourni. Dans ces conditions, l'utilisation intégrée de raisonnement flou et SIG a bien permis d'identifier les segments de routes dangereux.

Cette étude contribue à expliquer pourquoi les accidents sont plus fréquents dans certains segments du réseau routier que dans d'autres. La capacité du système à estimer peut être considérée comme opérationnelle pour pointer l'endroit où les accidents de la route observés sont localisés. Cette comparaison confirme la pertinence du système et valide la robustesse du modèle d'inférence floue. Ce système permet d'obtenir des réponses rapides à la planification du trafic et fournir une meilleure information aux décideurs locaux concernant la réduction des accidents de la route.

Les résultats du modèle logique flou développé à l'estimation du risque routier présenté dans cette thèse démontrent l'utilité et les avantages de l'utilisation de SIG dans l'analyse des risques. Le cycle d'évaluation des risques routier est créé pour les routes rurales de la wilaya de Mascara illustré par la figure 3.6 (Selvi, 2009). Il combine le modèle de prédiction logique flou avec les apports de l'analyse spatiale via les outils SIG auxquels s'ajoutent des méthodes innovantes de l'analyse spatiale. Grâce à ce point de vue similaire à l'étude de Ng et al. (2002). Ng et al. (2002) proposent des modèles de régression Binomiale Négative et de Poisson pour estimer aussi les cycles d'accidents de

la route en zone urbaine, et pour décrire les structures spatiales nécessaires à l'estimation du risque. Donc, il s'agit d'un développement fondamental pour faciliter l'usage de ces méthodes en recherche appliquée. L'amélioration de la sécurité routière est souvent l'un des principaux objectifs de la politique des transports. Il a été démontré que la volonté politique et les contre-mesures produisent des résultats positifs (Broughton , 1991; Downing , 1995).

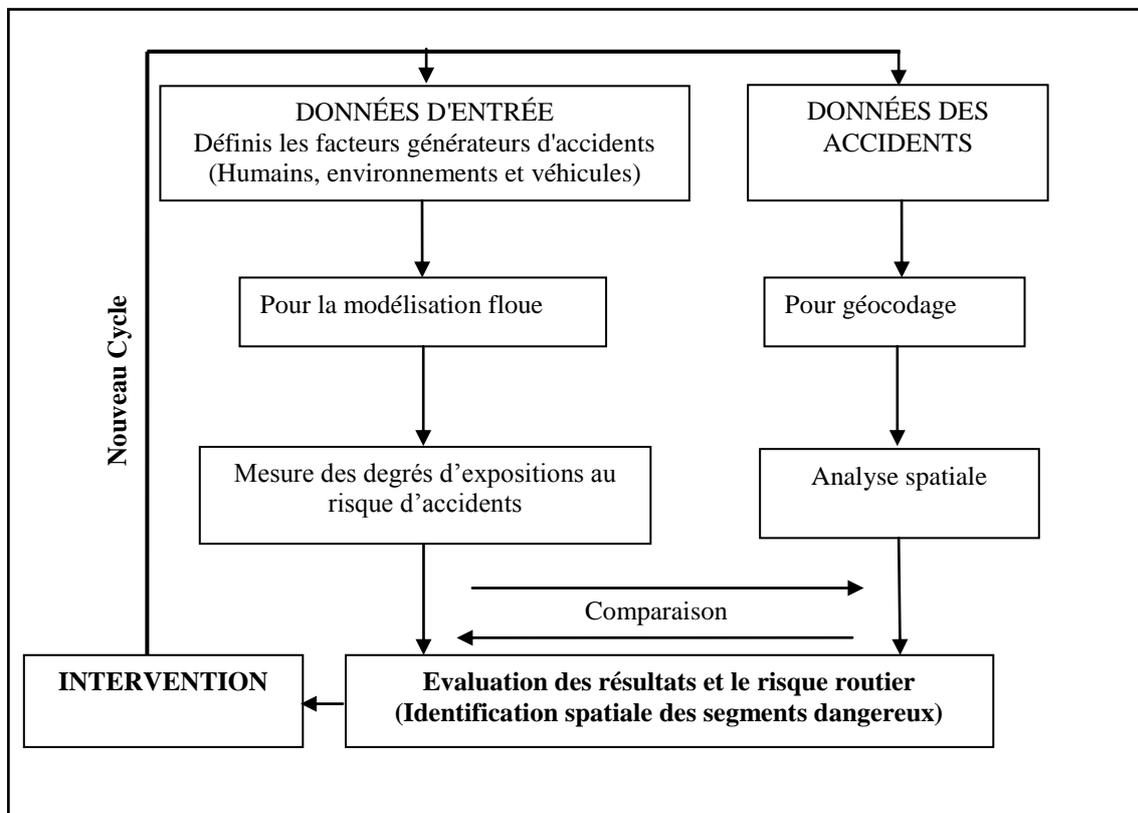


Figure 3.6 : Le cycle d'évaluation des risques routier

Les conclusions de la thèse aideront à développer davantage de stratégies cohérentes au profit des gestionnaires en sécurité routière à la fois dans les différentes échelles des plans de développement et aussi à l'échelle de l'aménagement du territoire. En outre, ces points de données aideraient ses concepteurs sur la conception d'un mécanisme de sécurité routière durable.

A l'avenir, nos recherches vont se développer en direction de l'intégration des SIG et les méthodes d'analyse multi-critères pour l'identification des segments de route dangereux. Il s'agira de développer un SIG particulier: un ensemble intégré d'outils pour l'aide à la décision spatiale selon les préoccupations des décideurs. Pour ce faire, dans un premier temps, l'analyse multi-critères qui

contient à la fois les données spatiales et les paramètres de l'algorithme sera intégrée dans la chaîne des traitements.

C'est pourquoi l'intégration des SIG et de l'analyse multicritères (AMC) constitue une voie privilégiée incontournable pour faire évoluer les SIG vers de véritables outils d'aide à la décision (Laaribi, 2000). L'utilisation la méthode d'AMC est basée sur plusieurs paramètres. Elle conserve les données dans leur format initial (Bouchard et al., 2002). De nombreuses études ont exploré l'effet combiné de la géométrie de la route et des facteurs environnementaux sur la sécurité routière (Ivan et al., 2000; Ossenbruggen et al. 2001). Ainsi, un SIG fournit un éclairage sur les accidents qui peuvent faciliter la planification (Levine, 2006).

Chapitre 4 :

*Contribution d'un SIG à une meilleure
gestion d'un réseau routier urbain*

4.1 Introduction

La congestion est un phénomène complexe et multidimensionnel qui est difficile à découvrir et, encore plus difficile, à atténuer. Les chercheurs et les gestionnaires des réseaux routiers ont éprouvé des difficultés à éliminer le phénomène. La congestion implique des files d'attente, des vitesses plus lentes et des temps de déplacement plus élevés, qui imposent des coûts sur l'économie et génèrent de multiples impacts sur les régions urbaines et de leurs habitants.

La recherche sur la problématique de la modélisation de l'écoulement du trafic a débuté depuis 1955. Lighthill et Whitham (1955) ont présenté un modèle qui montre une relation fonctionnelle entre le débit et la concentration du trafic sur les routes. Dès lors, la description mathématique de la circulation a été un sujet important de recherche et de débat pour les ingénieurs de la circulation. Cela a abouti au développement de modèles décrivant différents aspects des opérations de flux de trafic, en considérant le comportement espace-temps des conducteurs.

Cependant, pour faire face à la congestion du trafic par les décideurs, souvent, est accroître la capacité de la chaussée. Les partisans de cette stratégie font valoir que l'augmentation de la capacité des routes soit la seule solution efficace pour atténuer la congestion du trafic (Balacker et Staley, 2006). Il existe certaines preuves pour indiquer qu'accroître la capacité des routes conduit à une réduction à court terme de la gravité de la congestion du trafic. Par exemple, Balacker et Staley (2006) ont rapporté que Houston au Texas, le retard annuel moyen de déplacement a été réduit de 50% entre 1986 et 1992 parce que pendant cette période, le nombre de kilomètres des autoroutes construites a quadruplé.

Lais (2004) a utilisé un Indice de la Congestion Routière (ICR) pour mesurer la gravité de la congestion du trafic. L'ICR représente un ratio supplémentaire de temps que peut prendre un déplacement au cours des périodes de pointe. Downs (2003) suggère que le trafic peut être considéré comme congestionné, quand il se déplace à une vitesse inférieure à la capacité conçue d'une route parce que les conducteurs ne sont pas capables d'aller plus vite.

Par ailleurs, l'enquête de la fluctuation du trafic dans les réseaux urbains sur des périodes d'analyse de plusieurs semaines ou mois. Elle peut donner une idée prometteuse pour atténuer l'augmentation des problèmes de congestion. Stathopoulos et Karlaftis (2001) ont examiné d'abord les variations spatio-temporelles de l'écoulement du trafic dans un réseau urbain, le réseau routier de la région du Grand Athènes, en Grèce. Ils ont montré une analyse exploratoire des caractéristiques de la distribution d'un ensemble du trafic collectés sur une période de plusieurs mois. Aussi, Weijermars

and van Berkum (2004) ont présenté une analyse de variance (ANOVA) de la circulation le long d'un itinéraire urbain à travers d'une série de jours de la semaine, sur la base de l'hypothèse que les flux suivent une distribution normale. Généralement, ce type d'analyse est particulièrement utile pour comprendre les caractéristiques de la circulation urbaine.

La congestion a un impact direct sur la vitesse de circulation, parce qu'elle affecte la qualité de la circulation. Les vitesses excessives affectent la gravité des accidents de la circulation routière. Actuellement, la surveillance efficace du véhicule peut être atteinte par l'intégration du Système de Positionnement Global (GPS) et des données de trafic tels que la vitesse et la direction du flux de trafic dans un environnement SIG. Ce système intégré de GPS-SIG fournit en temps réel l'emplacement significatif et l'état des véhicules dans le réseau (Owusu et al, 2006). Ainsi, les vitesses de circulation des véhicules dans l'environnement urbain peuvent être efficacement gérées par l'application du GPS et des SIG. La cartographie de la vitesse de la circulation routière fait ressortir les tendances géographiques désirées et les relations qui sont des indicateurs pour la gestion du système de trafic urbain

Ce chapitre vise à fournir aux décideurs une vision stratégique et un aspect conceptuel pratique essentiel pour gérer l'état de la circulation sur le réseau routier de la ville de Mohammadia, de manière à réduire son impact global sur les usagers. L'analyse de l'évolution de l'état de la circulation urbaine est très importante et constructive pour l'orientation et le contrôle du trafic. Dans ce chapitre, l'objectif de cette recherche est de développer un SIG qui permet l'analyse d'un réseau de trafic urbain de la ville Mohammadia, dans la wilaya de Mascara, dans la région nord ouest d'Algérie. Ainsi, des scénarios ont été conçus et mis en œuvre dans un environnement ArcGIS 10.1 par l'extension Network Analyst. L'analyse montre que l'état de la circulation à une perspective d'application large dans l'amélioration de la gestion du trafic urbain et la prise de décision.

Afin de dresser le portrait du réseau routier étudié de la ville de Mohammadia dans la wilaya de Mascara et d'étudier le lien entre les caractéristiques physiques des routes et l'état de la circulation. Ce chapitre expose ci-dessous les différentes étapes à effectuer et les outils à employer.

4.2 Description de la zone d'étude

La ville de Mohammadia illustré par la figure 4.1, est caractérisée par une activité commerciale, comme on fait son dynamisme démographique. Mais elle reste confrontée à plusieurs problèmes à travers sa morphologie dont son réseau routier. Ainsi, le but de ce chapitre est de démontrer qu'un SIG peut constituer une solution aux problèmes rencontrés. La démarche adoptée a constitué à la mise en place d'une base de données et d'une cartographique numérique du réseau. Il a fallu pour cela identifier les données nécessaires puis de les digitaliser et ensuite les intégrer au SIG. Les résultats obtenus démontrent l'efficacité de la base de données sur requête de l'utilisateur. De même, les cartes ont facilité une localisation précise d'entités du réseau et aussi de voir les endroits moins bien desservis.

Le réseau routier utilisé pour cet analyse a été stockée sous forme de jeu de données réseau. Un jeu de données réseau a été créé à partir des sources qui participent au réseau. Il intègre un modèle de connectivité de pointe qui représente des scénarios complexes. Il possède également un riche d'attribut de réseau qui aide les impédances de modèle, les restrictions et la hiérarchie du réseau. Le jeu de données réseau a été construit à partir de caractéristiques simples (lignes et points) et les virages.



Figure 4.1. Situation géographique de la ville de Mohammadia

Ainsi, l'objectif de ce chapitre est de développer un SIG qui permet l'analyse d'un réseau de trafic urbain de la ville Mohammadia. Pour atteindre cet objectif, l'étude suivra les lignes directrices suivantes :

- Le choix et le développement de l'espace de travail source,
- Identifier les sources et le rôle qu'ils joueront dans le réseau,
- Modélisation de la connectivité,
- Définition d'attributs et de déterminer leurs valeurs
- Exécution de l'analyse.

4.3 Matériaux et Méthodes

4.3.1 Sources de données

Les données utilisées comportent deux sources de données primaires et secondaires. La principale source de données implique la collecte directe des informations sur le terrain relative à la topologie du réseau étudié.

Les données recueillies à partir de sources primaires, comprennent donc: les coordonnées géographiques de notre zone d'étude, en utilisant des cartes topographiques et des guides du réseau urbain de la ville de Mohammadia, qui ont été recueillies, en utilisant des outils de navigation disponibles sur internet à savoir : OpenstreetsMaps, Google Maps et Google Earth. La source de données secondaire implique les informations complémentaires à partir des documents existants. Ces données comprennent : les comptages de trafic pour différents carrefours de la ville qui ont été recueillies à partir de Bureau d'Etudes des Transports URbains filiale de l'entreprise Metro d'Alger (BETUR, 2012).

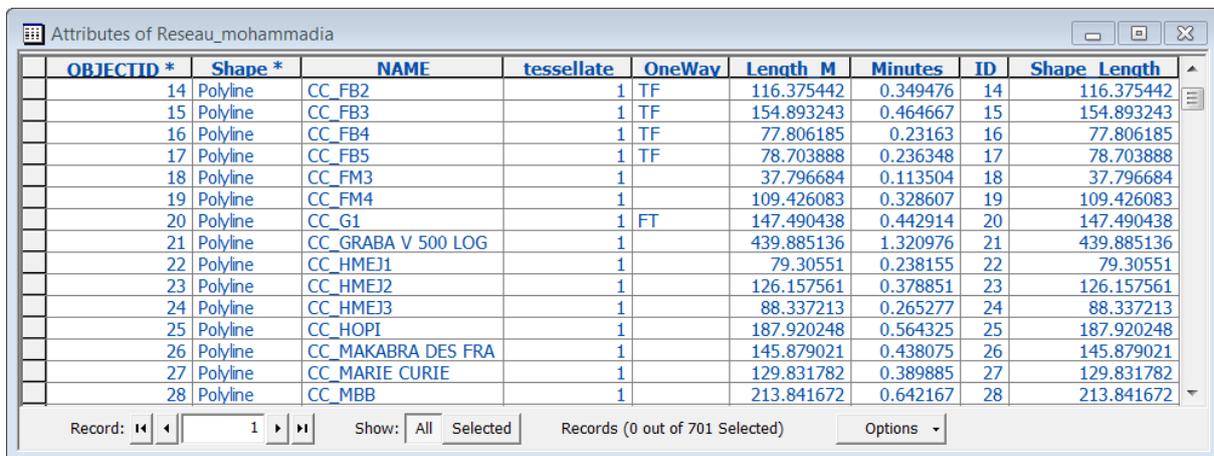
D'autres données nécessaires pour la présente application ont été recueillies et enregistrées manuellement sur un fond cartographique de format A₀. Ces données concernent essentiellement: Les sens interdits, retournements interdits et les autres panneaux de signalisation comme les stops, les signalisations lumineuses. La base de données ensuite a été structurée dans un format de mise en œuvre dans un SIG, en utilisant la boîte outil Network Analyst dans l'environnement ArcGIS 10.1.

4.3.2 La conception du réseau

Le jeu de données réseau a été créé en premier lieu sous forme de fichier shape sur la base de l'assiette cartographique disponible. En deuxième étape, nous avons construit la géodatabase qui prend en charge les multiples bords (limites), par exemple : les virages et les sources de jonctions. La connectivité pour le jeu de données réseau a été créée en utilisant le modèle de connectivité d'ArcGIS. Les scénarios spéciaux, tels que la trémie est également parvenue. Les impédances utilisées au cours de l'analyse du réseau et de leurs valeurs à partir des sources du réseau ont été déterminées.

4.3.3 Création du jeu de données réseau

Toutes les classes d'entités qui ont participé en tant que sources dans un réseau ont été placées dans une caractéristique de jeu de données réseau. Les champs représentant les valeurs d'impédance de réseau tels que la distance, le temps parcourir (déplacement), et ainsi que d'autres attributs de réseau comme le sens de circulation, etc. ont été fournis (figure 4.2).



OBJECTID *	Shape *	NAME	tessellate	OneWay	Length M	Minutes	ID	Shape Length
14	Polyline	CC_FB2	1	TF	116.375442	0.349476	14	116.375442
15	Polyline	CC_FB3	1	TF	154.893243	0.464667	15	154.893243
16	Polyline	CC_FB4	1	TF	77.806185	0.23163	16	77.806185
17	Polyline	CC_FB5	1	TF	78.703888	0.236348	17	78.703888
18	Polyline	CC_FM3	1		37.796684	0.113504	18	37.796684
19	Polyline	CC_FM4	1		109.426083	0.328607	19	109.426083
20	Polyline	CC_G1	1	FT	147.490438	0.442914	20	147.490438
21	Polyline	CC_GRABA V 500 LOG	1		439.885136	1.320976	21	439.885136
22	Polyline	CC_HMEJ1	1		79.30551	0.238155	22	79.30551
23	Polyline	CC_HMEJ2	1		126.157561	0.378851	23	126.157561
24	Polyline	CC_HMEJ3	1		88.337213	0.265277	24	88.337213
25	Polyline	CC_HOPI	1		187.920248	0.564325	25	187.920248
26	Polyline	CC_MAKABRA DES FRA	1		145.879021	0.438075	26	145.879021
27	Polyline	CC_MARIE CURIE	1		129.831782	0.389885	27	129.831782
28	Polyline	CC_MBB	1		213.841672	0.642167	28	213.841672

Figure 4.2. Informations nécessaires pour la création du jeu de données réseau

Le réseau a été créé en utilisant l'icone jeu de données réseau "Network Dataset". Le jeu de données réseau a été construit, en identifiant les sources du réseau, la mise en place de la connectivité, l'identification des données d'élévation, en précisant les sources de tournants, la définition des attributs (tels que les coûts, les descripteurs, les restrictions et la hiérarchie), et mise en place des directions déclaré spécifiquement. La construction est un processus de création d'éléments de réseau, établir la connectivité, et l'attribution de valeurs aux attributs définis. Et enfin nouvelle classe d'entités tournants ont été créés dans la géodatabase à partir du menu contextuel du ArcCatalog.

4.4 Résultats et Discussions

L'étude met en évidence des problèmes de réseau courants, tels que trouver le meilleur itinéraire à travers de la ville de Mohammadia, la recherche du véhicule ou d'une installation d'urgence la plus proche, l'identification d'une zone de service autour d'un lieu, ou desservir un ensemble des ordres avec un flux de véhicules. Cependant, notre recherche, au préalable, va se concentrer d'une part, sur quatre points essentiels liés à la situation de la circulation du trafic dans le réseau routier de la ville de Mohammadia, et d'autre part, sur les cas de recherche des itinéraires vers des équipements (centres hospitaliers dans le cas d'accident ou l'évacuation d'un cas urgent, ou peut être dans le cas de recherche des fontaines les plus proches à un incendie, etc.).

4.4.1. Trouver le meilleur itinéraire vis-à-vis la distance

L'analyste trouve le meilleur moyen de se rendre d'un endroit à un autre ou la meilleure façon de visiter plusieurs endroits. Les emplacements ont été précisées de manière interactive en plaçant des points à l'écran, ou en entrant une adresse ou en utilisant des points dans une couche de classe d'entités ou entité existante. Le meilleur itinéraire a été déterminé pour l'ordre des endroits comme spécifié par l'utilisateur. Alternativement, l'analyse permet de déterminer la meilleure séquence de visiter les lieux.

Dans l'exemple ci-dessous illustré par la figure 4.3, le premier cas utilise la distance comme impédance. Le chemin le plus court est représenté, ce qui prend 156.79 mètres à traverser. Par conséquent, c'est la longueur du plus court chemin.

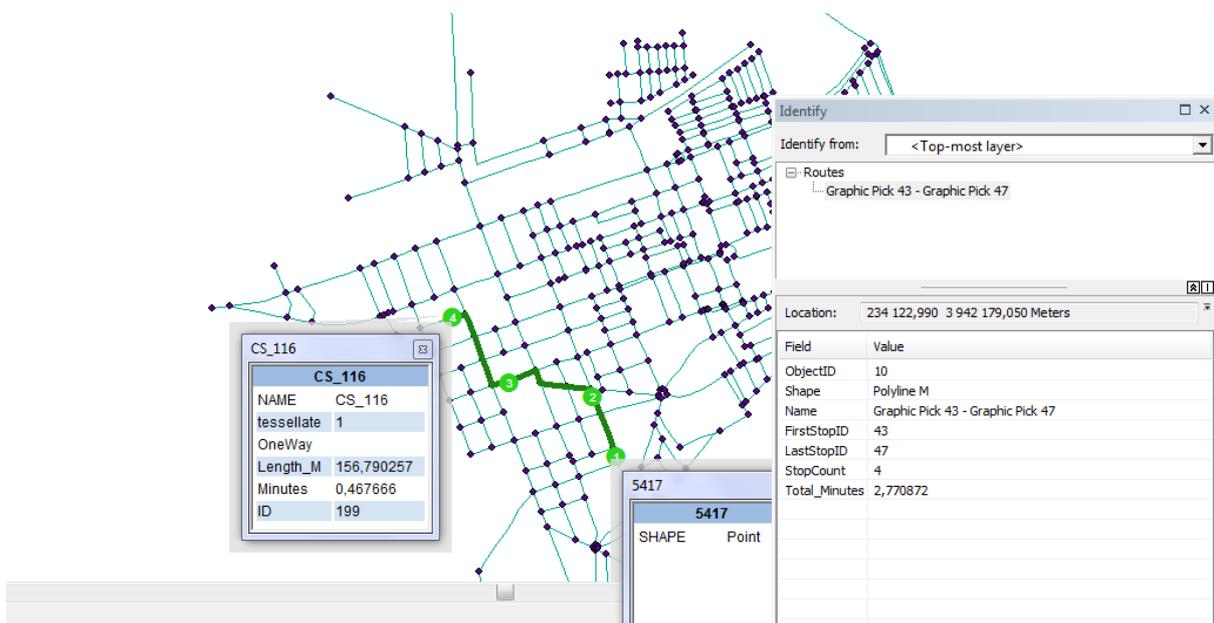


Figure 4.3: Trouver le meilleur itinéraire en utilisant la distance comme impédance

Il est à noter que pour notre cas, nous avons basé beaucoup plus sur le facteur temps qui est calculé en fonction de la vitesse (20 km/h à 30 km/h) et la distance du tronçon. Le cas présenté dans la figure 4.3 tient en compte uniquement de la distance parcourue (en fait c'est la première version du réseau créé). Après, nous avons introduire la notion du temps de parcours lors de la création du réseau dans sa deuxième version.

4.4.2. Trouver le meilleur itinéraire vis-à-vis le temps

Dans le cas suivant, le temps est choisi comme l'impédance. Vous pouvez spécifier combien de recherche et savoir si la direction du déplacement est vers ou loin d'eux. Après avoir trouvé les installations les plus proches possibles en temps, le meilleur itinéraire vers ou depuis leur sera affiché. Dans l'exemple ci-dessous montré par la figure 4.4, le chemin le plus rapide est représenté, ce qui prend trois minutes à traverser.

Aussi, l'analyse révèle des zones de service autour de tout emplacement sur le réseau. Une zone de service du réseau est une région qui englobe toutes les rues accessibles. Par exemple, la zone de service de 10 minutes pour une installation comprend toutes les rues qui peuvent être atteint dans les dix minutes de cette installation.

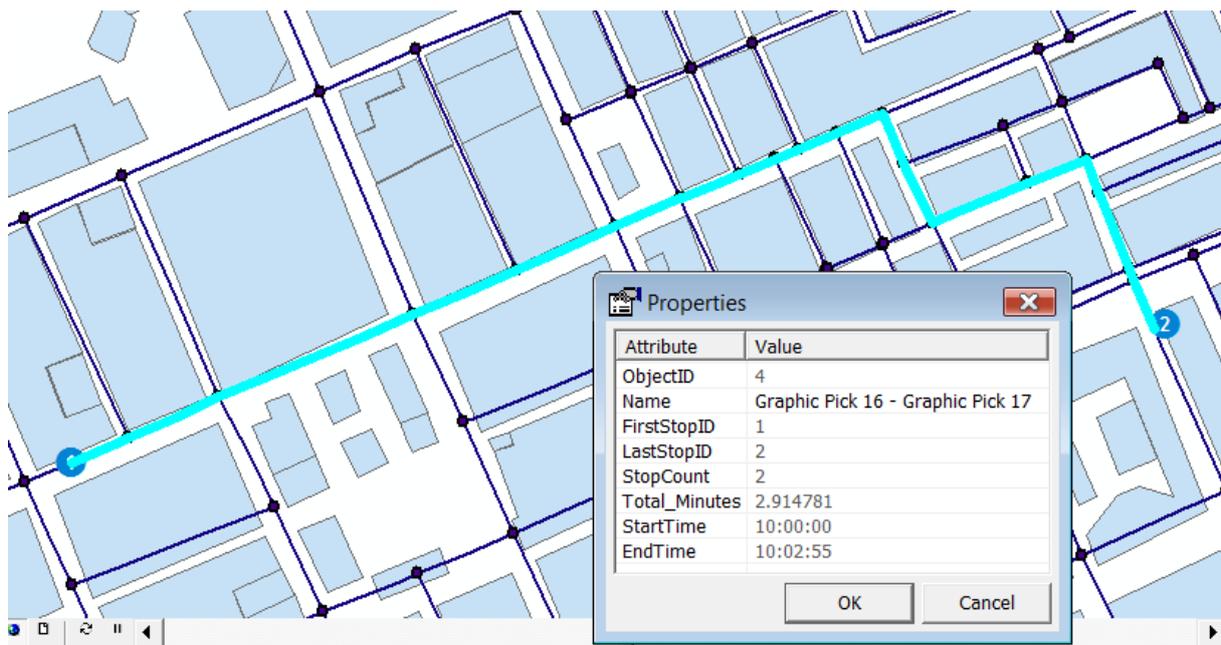


Figure 4.4. Trouver le meilleur itinéraire en utilisant le temps comme impédance

quatre minutes à traverser. En plus des deux types de barrières présentés (ponctuel et polygonal), le système offre la possibilité d'utiliser une ou plusieurs barrières sous forme de ligne.

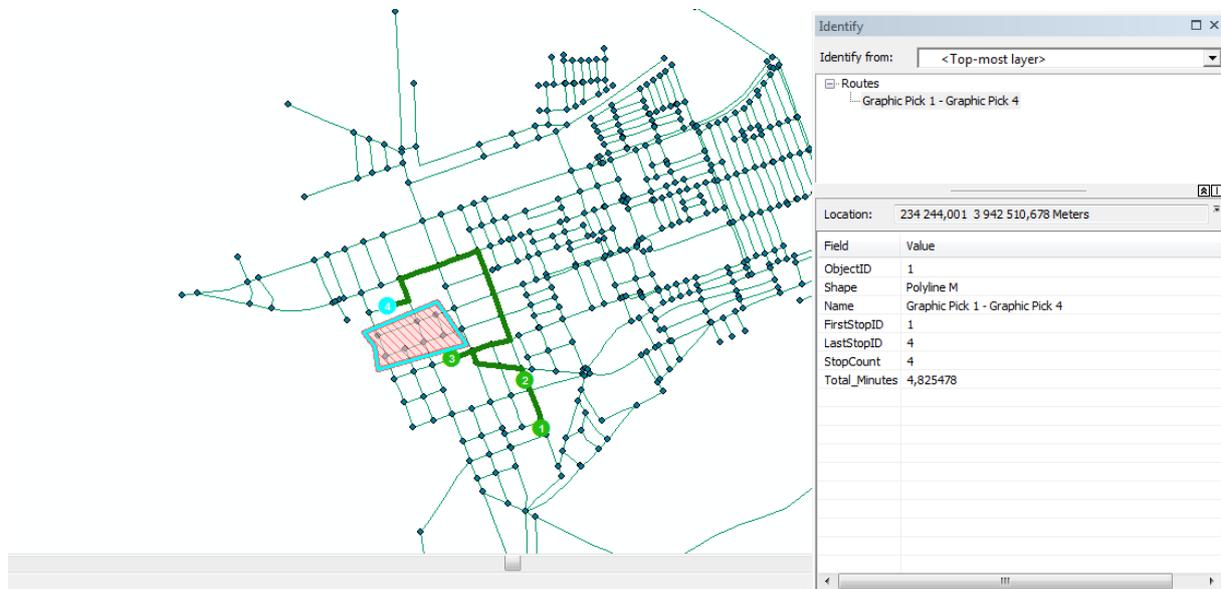


Figure 4.6. Trouver le meilleur itinéraire en évitant une zone déterminée.

4.4.5. Trouver le meilleur itinéraire vers une source d'eau (cas d'incendie).

L'intervention des pompiers dans les cas d'incendie nécessite, en plus du matériels et personnels, des mécanismes qui gèrent efficacement le temps et l'itinéraire d'accès. On peut citer deux cas :

- Le déplacement des pompiers de la base vers le lieu d'incendie.
- La recherche de la plus proche fontaine à partir du lieu d'incendie.

Le premier cas est semblable aux cas traités ci-dessus, il suffit de localiser la base des pompiers et le lieu d'incendie avec les éventuelles barrières qui peuvent être présentées.

Le deuxième cas, est complètement différent. Cela nécessite d'abord la création de la couche des fontaines (sources d'eau) disponibles sur tout le secteur urbain de la ville de Mohammadia. L'utilisation de l'outil "*Closet Facility*" sous *Network Analyst* (figure 4.7).

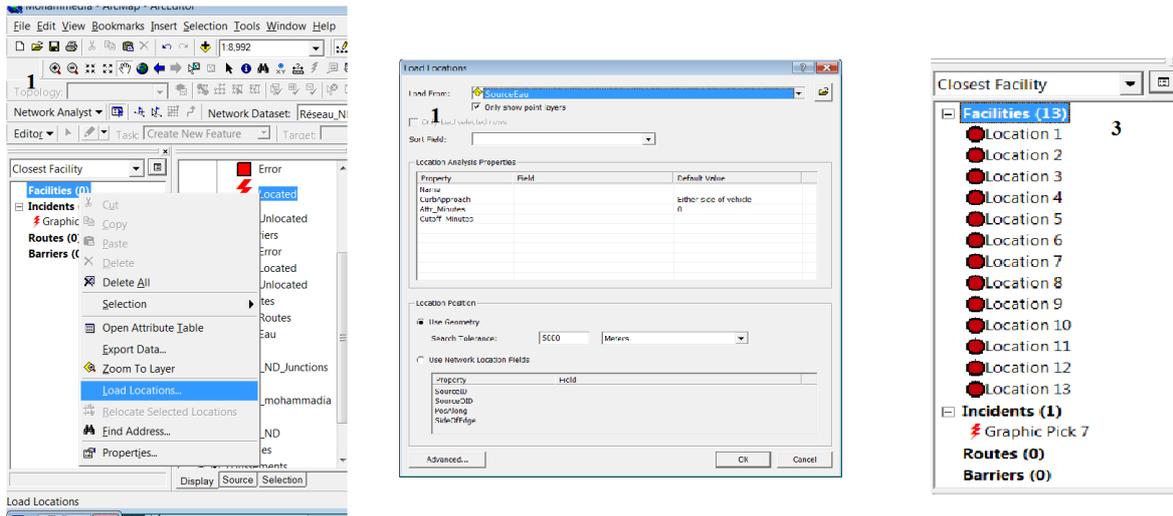


Figure 4.7. Etapes préparatoires pour l'utilisation de l'option *Closest Facility*.

La figure 4.8 illustre la répartition des fontaines dans la partie sud ouest de la ville de Mohammadia ainsi que le lieu d'incendie :

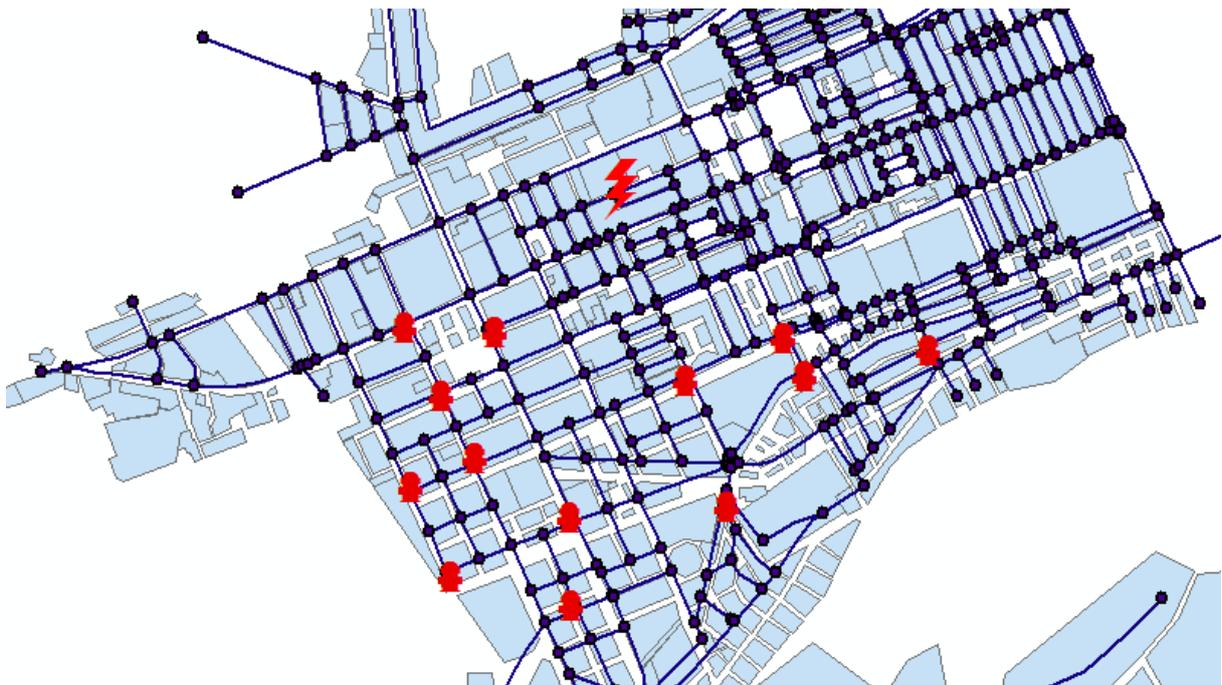


Figure 4.8. Les sources d'eau avec le lieu virtuel de l'incendie.

Ainsi, voici le chemin obtenu qui dépend essentiellement du temps de parcours et les sens interdits (figure 4.9) :

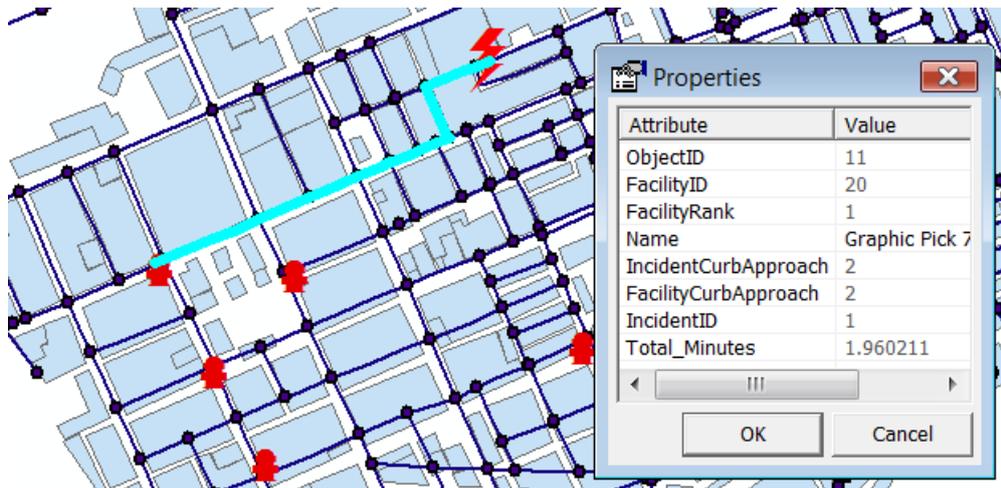
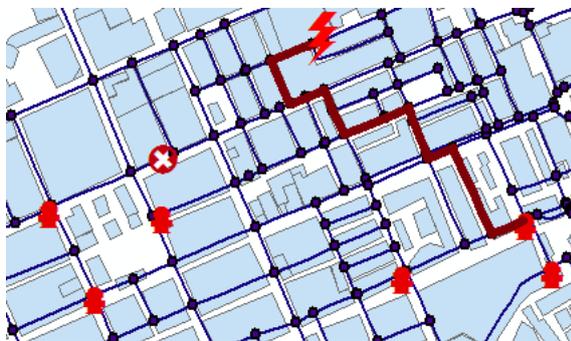
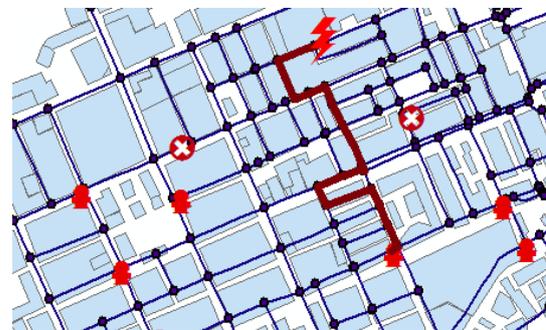


Figure 4.9. Le plus court chemin pour atteindre la plus proche fontaine.

Aussi, avec l'implication des obstacles dans des endroits localisés sur les chemins choisis, voici quelques scénarios :



Scénario 1 (2.44 minutes)



Scénario 2 (2.46 minutes)

Figure 4.10. Le plus court chemin pour atteindre la plus proche fontaine avec la présence d'obstacle.

L'outil *Closet Facility* peut être utilisé dans d'autres cas, il s'agit de définir le lieu de départ (qui peut être: un lieu d'accident, un lieu d'habitation d'un malade à évacuer en urgence, etc.) et de définir les destinations voulues (qui peuvent être les centres médicaux ou hôpitaux par exemple).

En fin, nous estimons que nous avons utilisé le peu des fonctionnalités de l'outil *Network Analyst*, vu la nécessité d'introduire des données plus au moins spécifiques concernant l'aspect fonctionnel du réseau routier à savoir: les détournements interdits, la signalisation lumineuse, le flux de circulation, la vitesse de circulation qui est différente d'un tronçon à l'autre, la présence des points de contrôle policier. Aussi, l'intégration de données sur les jours de semaines, l'heure de parcours et autres, constitue un moyen efficace pour le choix du chemin optimal, d'ailleurs, le chemin optimal entre les mêmes destinations pour jeudi à 18:00 n'est plus le même pour vendredi à 13:00.

Par ailleurs, pour les cas précédents, une coupure d'impédance au-delà duquel l'analyse ne doit pas rechercher un lieu donné peut être spécifiée. Par exemple, repéré un lieu le plus proche à la recherche sur le réseau routier dans les 200 secondes en voiture. Ainsi, toute jonction qui prend plus de temps de 200 secondes pour atteindre n'a pas été incluse dans les résultats.

4.5 Conclusion

Le SIG développé basé sur l'analyse de réseau dans ce travail s'articule sur un ensemble de procédures permettant d'accomplir des mesures sur un réseau routier urbain de la ville de Mohammadia. Les analyses faciliteront les processus de prise de décision en fournissant des renseignements utiles pour les usagers de la route, les autorités compétentes, les opérateurs de transport et du grand public tout entier. Les différents scénarios montrés qu'un bon plan de contrôle du trafic a un effet sur le modèle de la circulation et les conducteurs qui tentent de changer leur itinéraire, s'ils sont au courant de la fermeture possible d'un itinéraire.

Les résultats montrent deux façons principales par lesquelles un SIG peut fournir des solutions rapides à la congestion du trafic de la ville de Mohammadia. La première façon est la fourniture d'informations de circulation qui permet aux usagers de la route de prendre des décisions rationnelles. La deuxième est la détermination de requêtes appropriées qui peuvent évoquer des réponses graphiques, et qui pourraient être utilisés pour gérer l'état de la circulation sur le réseau routier. Ainsi, le SIG fournit un soutien efficace à la décision grâce à ses capacités de gestion de base de données, des interfaces graphiques et de visualisation cartographique. Cela confirme les analyses de scénarios pour la gestion du trafic soumis à des perturbations imprévus de réseau.

Par ailleurs, la répartition des responsabilités en matière de gestion des réseaux routiers est un facteur important qui peut conditionner le succès des stratégies de gestion de la congestion. Par exemple, de nombreuses mesures visant à améliorer la performance de la route qui dépendent aux usagers de la route se conforment aux règles (limitations de vitesse, régulation de stationnement, etc..). Par conséquent, leur succès dépend également de l'application d'une politique de gestion du trafic, à savoir sur la coopération des organismes concernés.

En concluant que, un SIG est un véritable outil de décision dans la gestion du trafic, à condition qu'il soit construit sur une base de données bien conçu. La base de données doit être actualisée de temps à autre. Cependant, pour un résultat optimal en termes d'assurer une circulation fluide des véhicules, dans les villes, le SIG-T doit être fait pour soutenir les techniques de gestion du trafic existants.

Chapitre 5 :

Conclusions et recommandations

5.1 Conclusions et recommandations

La recherche entreprise a pour but de contribuer à la formulation des systèmes d'analyses spatiales du trafic routier, et qui ont permis de fournir un ensemble de principes d'action à entreprendre pour une sécurité routière durable. Ces systèmes ont été conduits sur la base des critères environnementaux locaux des réseaux étudiés : ils examinent l'influence de l'infrastructure routière et son environnement sur la gestion du risque routier, démontrée par une recherche bibliographique prononcée en chapitre deux.

Dans le chapitre trois, l'opérationnalité de l'approche est illustrée par l'application sur un réseau routier rural de la wilaya de Mascara; elle est comparée en termes de résultats avec la distribution spatiale des accidents de la route réellement observés durant une période de 3 ans (2008 -2010). La comparaison conduit à des résultats tout à fait similaires en matière de risque routier. La génération du modèle dépendant du Système d'Inférence Flou (SIF). Principalement, par la base de règles, est d'une importance centrale dans cette thèse et elle a été couverte en détaille, dont nous avons mis l'accent sur les performances du modèle de prédiction. Aussi, pour évaluer la performance du modèle, au préalable, une large discussion avec les acteurs et les intervenants professionnels de la sécurité routière sur le réseau étudié, a été traduite dans le processus de génération de la base de règles. Une illustration de cette opérationnelle procédure aboutissant à établir une carte des zones noires avec leurs degrés de dangerosité. Cela pourrait laisser penser que l'infrastructure routière et l'environnement local jouent un rôle important dans l'explication des concentrations spatiales des accidents. Dans ce premier système de prédiction basé sur la logique floue, la règle de base du modèle peut avoir une structure de mise à jour par l'intermédiaire de nouvelles données fournies périodiquement.

Dans le chapitre quatre, la méthodologie entamer peut être utilisée non seulement comme une simple analyse du réseau routier urbain, mais elle peut supporter une modélisation d'un réseau multimodal complexe. La recherche permettra l'amélioration du niveau de service de la circulation des biens et des personnes. Ainsi, le système développé contribue à identifier les sources et le rôle qu'ils joueront dans le réseau, la modélisation de la connectivité, en définissant les attributs et la détermination de leurs valeurs dans le cadre d'une sécurité routière durable.

Des discussions des résultats obtenus avec les ingénieurs routiers, les planificateurs et les concepteurs sont fondamentales pour voir comment améliorer physiquement, dans la pratique, les

routes et leur environnement d'un point de vue de la sécurité. Quelques recommandations possibles ont été données pour améliorer la sécurité routière en agissant sur l'infrastructure routière et l'environnement.

Néanmoins, pour remédier à cette l'insécurité, ces dernières années, l'Algérie a défini un plan d'infrastructure ambitieux visant à créer un vaste réseau d'autoroutes et de routes provinciales. Une solution, tout à fait coûteuse, mais qui présente l'énorme avantage de fluidifier de façon durable le trafic, engendrant ainsi des économies en matière de consommation de carburant et une forte réduction des impacts sur l'environnement. Mais en matière de sécurité routière, il faut réduire le nombre d'accidents et bien sur leur gravité, pour cela il faut un réseau routier plus sûr en particulier en zone rurale qui va permettre de fournir un environnement sécurisé des conducteurs (des usagers de la route) et bien sûr une importance économique pour la société, qui devient une question très pertinente dans le domaine de la planification des transports.

Par conséquent, la répression et la sensibilisation ne peuvent pas être les seules mesures prises pour atteindre une sécurité routière durable. Pour atteindre leurs objectifs de réduction des accidents, les autorités doivent également assumer leurs responsabilités en rendant l'infrastructure routière plus sécurisée. Il a été démontré que la volonté politique et les contre-mesures produisent des résultats positifs. Ainsi, la situation actuelle nécessitait des solutions urgentes, profondes et durables impliquant les différents acteurs de la sécurité routière. Donc, Il est très important de tracer une stratégie comprenant des mécanismes pour mettre à jour la politique nationale de la sécurité routière parallèlement à l'évolution en cours de la population et du parc automobile national. A titre d'exemple pour atténuer à la congestion routière, il est très important de privilégier le développement des modes de transport alternatifs à la route. Par conséquent, prendre des mesures incitatives pour encourager les citoyens à recourir aux transports en commun, et surtout renforcer le transport ferroviaire pour le transport des personnes et des marchandises, pour alléger la surcharge qui pèse sur les routes d'autant que le parc automobile est en constante augmentation.

Références et Bibliographies

Références bibliographiques

- Abdullahi S, Rodzi bin Mahmud A, Pradhan B. (2013). Spatial modelling of site suitability assessment for hospitals using geographical information system-based multicriteria approach at Qazvin city, Iran. *Geocarto Int.* doi:[10.1080/10106049.2012.752531](https://doi.org/10.1080/10106049.2012.752531)
- Abdulvahit T, Sebnem D. (2006). Using spatial data mining techniques to reveal vulnerability of people and places due to oil transportation and accidents: a case study of Istanbul strait. In: ISPRS Technical Commission II Symposium; July 12–14; Vienna; pp. 43–48. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part2/pdf/torun.pdf>
- Ameyan O. (1996). “Environmental and energy issue in urban transport system development,” presented at the FUMTA Seminar on Urban Transport Policy for Nigeria, Federal Urban Mass Transit Agency, Abuja, Nigeria, 16 June.
- Archer, J., Fotheringham, N., Symmons, M., Corben. B. (2008). The Impact of Lowered Speed Limits in Urban Areas. Report 279 Transport Accident Commission. P.71.
- Andreescu MP, Frost DB. 1998. Weather and traffic accidents in Montreal, Canada. *Clim Res.* 9:225–230. doi:[10.3354/cr009225](https://doi.org/10.3354/cr009225).
- Anselin L. (1995). Local indicator of spatial association-LISA,” *Geographical Analysis*, 27, pp. 93–115.
- Bailey, T.C. and Gatrell, A.C. (1995). *Interactive Spatial Data Analysis*. Longman, Harlow.
- Balacker, T. & Staley, S. (2006). *The Road More Traveled: Why the congestion crisis matters more than you think, and what we can do about it*. Lanham, MD: Rowman & Littlefield Publishers.
- Bauer Colin. (2011). *A Driver-Specific Maneuver Prediction Model Based on Fuzzy Logic*. PhD Thesis. Eingereicht am Fachbereich Mathematik und Informatik der Freien Universität Berlin. Germany.
- Bégin, C., Phaneuf, R., Laroche, D. (1989). L'identification des sites dangereux du réseau routier de la MRC des Moulins, volet III. Rapport du Département de santé communautaire de Lanaudière, Joliette, Québec, 18 p.
- Becky P.Y. Loo. (2006). Validating crash locations for quantitative spatial analysis: A GIS-based approach. *Accident Analysis and Prevention* (38): 879–886.
- Berhanu G. 2004. Models relating traffic safety with road environment and traffic flows on arterial roads in Addis Ababa. *Accid Anal Prev.* 36:697–704.
- Belton, V. (1986). A comparison of the Analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function. *European journal of operational research*, 26: 7-21
- Bello T. 2005. *A Stratified Traffic Accident Analysis Case Study: City of Richardson*, Masters in Geographic Information Sciences, University of Texas at Dallas, (http://charlotte.utdallas.edu/mgis/prj_mstrs/index.htm).
- Bureau d'Etudes des Transports Urbains (BETUR). (2012). *Collecte des données et mise en œuvre des enquêtes, comptages tous modes motorisés (TMM)*.
- Bouchard J., Jean Boulet, Claude Dussault, Lise Fournier, Michel Marmette, Jacques Michaud, Johanne Saint-Cyr, Céline Sylvestre, Guy Vaillancourt, Héléne Verret. (2001). *Politique de sécurité dans les transports, Volet routier*, 113 p.

- Booth, A.J. (2004). “ Fishery-Aquatic GIS Research Group, Spatial statistic and aquatic geographic information systems,” In: Proceedings of the Second International Symposium on GIS/Spatial Analysis in the Aquatic Sciences. Kawagoe-city, Japan, pp. 3 - 44. 2004
- Bouchon-Meunier B, Zadeh LA. (1995). La logique floue et ses applications [Fuzzy logic and its applications]. Vie artificielle. Paris: Addison-Wesley.
- Broughton, J., (1991). Forecasting road accident casualties in Great Britain. Accident Analysis and Prevention, Vol. 23, p. 353–362.
- Brown, B., Farley, C., Forgues, M., (1992). Identification of dangerous highway locations: results of Community Health Department Study in Quebec. Transportation Research Record, Vol. 1376, p. 78-85.
- Brijs T, Bossche FV, Wets G, Karlis D. (2006). A model for identifying and ranking dangerous accident locations: a case study in Flanders. Stat Neerl. 60:457–476. doi:10.1111/j.1467-9574.2006.00341.x.
- [CNPSR] Centre National de Prevention et de la Sécurité Routière. (2010). Available from: <http://www.cnpsr.org.dz/stat.htm>
- Chang LY. (2005). Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network. Saf Sci. 43:541–557. doi:10.1016/j.ssci.2005.04.004.
- Chapelon J, Lassarre S. (2010). Road safety in France: the hard path toward science-based policy. Saf Sci. 48:1151–1159.
- Cheng W, Washington SP. (2005). Experimental evaluation of hotspot identification methods. Accid Anal Prev. 37:870–881.
- Chuang CT, Fan SZ, Shieh JS. (2009). Rule extraction by fuzzy modeling algorithm for fuzzy logic control of cisatracurium as a neuromuscular block. Eng Appl Artif Intell. 22:129–140.
- Ciarapica FE, Giacchetta G. (2009). Classification and prediction of occupational injury risk using soft computing techniques: an Italian study. Saf Sci. 47:36–49.
- David C. Eckley, Kevin M. Curtin. (2013). Evaluating the spatiotemporal clustering of traffic incidents. Computers, Environment and Urban Systems. Volume 37, January 2013, Pages 70–81
- Delen D, Sharda R, Bessonov M. (2006). Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks. Accid Anal Prev. 38:434–444.
- Department for Transport. (2003). Congestion and Accident Risk. Road Safety Research Report No. 44. London. ISSN 1468-9138
- Diodato N. (2005). The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. Int J Climatol. 25:351–363.
- Doniec A, Mandiau R, Piechowiak S, Espié S. (2008). A behavioral multi-agent model for road traffic simulation. Eng Appl Artif Intell. 21:1443–1454.
- Downs, A., (2003). Still Stuck in Traffic: Coping with Peak-Hour Traffic Congestion. Washington, DC:Brookings Institution Press.
- Driss M, Benabdeli K, Saint-Gerand T et Hamadouche M.A. (2014). Traffic safety prediction model for identifying spatial degrees of exposure to the risk of road accidents based on fuzzy logic approach. Geocarto international. DOI:10.1080/10106049.2014.883554.

- Downing, A.J. (1995). L'insécurité routière dans le monde. In: *Projet de recherche sur les politiques intégrées de sécurité routière. Tome 1. Rapport de convention DSCR:INRETS No. 92-41029.*
- Effati M, Rajabi MA, Samadzadegan F, Rod Blais JA. (2012). Developing a novel method for road hazardous segment identification based on fuzzy reasoning and GIS. *J Transp Technol.* 2:32-40. doi:[10.4236/jtts.2012.21004](https://doi.org/10.4236/jtts.2012.21004).
- Elvik, R. (2000). How much do road accidents cost the national economy? *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 32, p. 849-851.
- Erdogan S, Yilmaz I, Baybura T and Gulu M. (2008). Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: City of Afyonkarahisar. *Accident Analysis and Prevention*, 40(1), 174-181.
- Erdogan, S. (2009). "Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and road mortality among the provinces of Turkey," *Journal of Safety Research*, 40, pp. 341-351.
- FHWA. (2003). *Freeway Management and Operations Handbook*. Rapport FHWA-OP-04-003. Washington, DC.
- Flahaut B. (2004). *Towards a sustainable road safety in Belgium. Localisation of spatial concentrations of road accidents and explanatory modelling.. Thèse de Doctorat en Géographie. Centre d'analyse spatiale et urbaine, université catholique de Louvain. Belgique*
- Flahaut B. (2004). Impact of infrastructure and local environment on road unsafety: logistic modeling with spatial autocorrelation. *Accid Anal Prev.* 36:1055-1066.
- Flahaut B, Mouchart M, Martin E, Thomas I. (2003). The local spatial autocorrelation and the kernel method for identifying black zones: a comparative approach. *Accid Anal Prev.* 35:991-1004.
- Fotheringham, A.S, Brunsdon, Cand Charlton, M. (2000). *Quantitative geography: Perspectives on spatial data analysis*. Sage Publications, Thousand Oaks, CA. 270 p.
- Gaudart. J, R. Giorgi, Poudiougou. B, Touré. O, Ranque. S, Doumbo. O, Demongeot. J. (2007). Détection de clusters spatiaux sans point source prédéfini : utilisation de cinq méthodes et comparaison de leurs résultats. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique* (55) 297-306
- Gaudry M, Himouri S. (2013). DRAG-ALZ-1, a first model of monthly total road demand, accident frequency, severity and victims by category, and of mean speed on highways, Algeria 1970-2007. *Res Transp Econ.* 37:66-78.
- Getis, A. and Ord, J.K. (1996) "Local spatial statistics: An overview," In *spatial analysis: Modeling in a GIS environment*. Edited by P. Longley and M. Batty (eds.). Jhon Wiley and Sons. New York, pp 261-277.
- Guettouche MS. (2012). Modeling and risk assessment of landslides using fuzzy logic. Application on the slopes of the Algerian Tell (Algeria). *Arab J Geosci.* 6:3163-3173. doi:[10.1007/s12517-012-0607-5](https://doi.org/10.1007/s12517-012-0607-5).
- Gundogdu IB. (2010). Applying linear analysis methods to GIS-supported procedures for preventing traffic accidents: case study of Konya. *Saf Sci.* 48:763-769.
- Gundogdu IB. (2011). A new approach for GIS-supported mapping of traffic accidents. *Proc Inst Civ Eng Transp.* 164:87-96.
- Hanks, J.W and Lomax, T.J. (1992). *Roadway congestion Estimates and Trends*, Research Report N 113 1-4, cooperative research program, Texas Transportation Institute, The Texas A&M university systems, College Stations, Texas.

- Hao Wang, Lai Zheng and Xianghai Meng. (2011). Traffic Accidents Prediction Model Based on Fuzzy Logic. Chapter. Advances in Information Technology and Education. Volume 201 of the series Communications in Computer and Information Science pp 101-108
- Heywood, C. Sara, and C. (1999). Steve, An Introduction to Geographical Information Systems, 3rd ed., London: Longman, pp. 19-33.
- Highway Capacity Manual. Third Edition. (1997). Transportation Research Board Special Report, Washington, D.C. ISSN: 0360-859X
- Highway Capacity Manual. (2000). Transportation Research Board, Washington, D.C. 2000. ISBN 0-309-06681-6.
- Hoogendoorn, S.P. and P.H.L. Bovy (2000a). Gas-Kinetic Modeling and Simulation of Pedestrian Flows. To appear in Transportation Research Board 2000. TRB-paper 00-1662
- Ivan, J.N., Wang, C., Bernardo, N.R. (2000). Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure. *Accid. Anal. Prev.* 32, 787–795.
- Jiang B. and Claramunt C. (2002). Integration of space syntax into GIS: new perspectives for urban morphology. *Transactions in GIS*, Vol. 6, No. 3, p. 295-309.
- Joseph Owusu, Francis Afukaar and B.E.K. Prah (2006). Urban Traffic Speed Management: The Use of GPS/GIS. Shaping the Change XXIII FIG Congress Munich, Germany, October p8-13.
- Kalboussi Anouar (2010). Méthode d'analyse et de classification des segments du réseau routier supérieur de la région de Montréal. *Maîtrise des sciences appliquées*. Université de Montréal
- Karlaftis MG and Golias I. (2002). Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates. *Accident Analysis and Prevention* 34, pp357–365.
- Khan. G, Xiao. Q and Noyce. D.A. (2008). Spatial Analysis of Weather Crash Patterns. *Journal of transportation engineering*, 134, pp. 191-202.
- Khan, M.A., Al Kathairi, A.S., Grib, A.M. (2004). A GIS based traffic accident data collection, referencing and analysis framework for Abu Dhabi. In: *Proceeding Codatu XI in 2004 in Bucharest (Romaina): Towards More Attractive Urban Transportation*, Association CODATU, France (<http://www.codatu.org/english/publications/proceeding/conference/codatu11/Papers/khan.pdf> accessed on July 15, 2005).
- Laaribi A. (2000). *SIG et analyse multicritère*, Ed. Hermès science publications.
- Lais, S. M. (2004) *The Impact of Urban Sprawl on Urban Area Traffic Congestion* (Master's Thesis). Available at California State University, Sacramento Library. Call #: Thesis L1878 2004.
- LEE, J., and WONG. D.W.S. (2001). *Statistical analysis with ArcView GIS*. Wiley, New York. 192 p.
- Lessard, D., Morin, D.R., Dorval, G., Hebert, L. (1992). Les lieux d'accidents des conducteurs âgés dans la ville de Sherbrooke. *27ème congrès annuel de l'Association québécoise du transport et des routes*, Tome 2, p. 282-294.
- Lighthill. M. J, Whitham. G. B . (1955). On Kinematic Waves. II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads. Volume: 229 Issue: 1178. [DOI: 10.1098/rspa.1955.0089](https://doi.org/10.1098/rspa.1955.0089)

- Madhavan-Nair B, Cai J. (2007). A fuzzy logic controller for isolated signalized intersection with traffic abnormality considered. In: Proceedings of the Intelligent Vehicles Symposium; June 13–15; Istanbul: Institute of Electrical and Electronics Engineers; p. 1229–1233.
- Maher, M.J., Mountain, L.J. (1988). The identification of accident blackspots: a comparison of current methods. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 20, p. 143-151.
- Mamdani EH, Assilian S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *Int. J. Man. Mach. Stud.*, 7(1): 1-13. Mathworks T (2001). Fuzzy logic toolbox for use with Matlab. User's guide, version 2. Natick, MA: The Mathworks, Inc. MA: MIT Press
- Miaou, S. and Song, J.J. (2005). Bayesian ranking of sites for engineering safety improvements: decision parameter, treatability concept, statistical criterion, and spatial dependence. *Accident Analysis & Prevention*, 37(4), pp. 699-720.
- Miaou, S., Song, J.J. and Mallick, B. (2003). Roadway traffic crash mapping: a space-time modeling approach. *Journal of Transportation and Statistics*, 6(1), pp. 33-57.
- Mitchell, A. (2005). *The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2: Spatial measurements and statistics*, ESRI Press, 240p.
- Miller H.J., Wu Y.-H. (2000). GIS Software for Measuring Space-Time Accessibility in Transportation Planning and Analysis. *Geoinformatica*, Vol. 4, No. 2, p. 141-159.
- Moons E, Brijs T, Wets G. (2009). Improving moran's index to identify hot spots in traffic safety. *Geocomputation and urban planning*. Berlin: Springer; p. 117–132.
- Moran. P. A. P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37:17–23,.
- Murè S, Demichela M. (2009). Fuzzy Application Procedure (FAP) for the risk assessment of occupational accidents. *J Loss Preven Proc.* 22:593–599.
- Ng KS, Hung WT, Wong WG. (2002). An algorithm for assessing the risk of traffic accident. *J Saf Res.* 33:387–410.
- NCHRP. (2001). *Economic Implication of Congestion.*, National Cooperative Highway Research Program Rapport 463. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- Noland, R.B. and Quddus, M.A. (2005). Congestion and safety: a spatial analysis of London. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(7-9), pp. 737-754.
- Nguyen T.N. (1991). Identification of accident blackspot locations, an overview. VIC Roads/Safety Division. Research and Development Dept., Victoria, Australia.
- Office National des Statistiques. (2010). Available from: <http://www.ons.dz>.
- Ord, J.K. and Getis A. (1995). Local Spatial Autocorrelation statistics: Distribution issues and an application," *Geographical analysis*, 27, pp. 286-306.
- Okabe, A. Satoh, T and Sugihara, K. (2009). A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS-based tool, *International Journal of Geographical Information Science.*, 23(1): 7-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13658810802475491>
- Okabe, A. and K. Sugihara. (2012). *Spatial Analysis Along Networks: Statistical and Computational Methods*, Chichester: John Wiley, a volume in the Wiley series of Statistics in Practice.
- Ossenbruggen, P.J., Pendharkar, J., Ivan, J. (2001). Roadway safety in rural and small urbanized areas. *Accid. Anal. Prev.* 33, 485–498.
- Porta S., Crucitti P., Latora V. (2005). The network analysis of urban streets: a primal approach. *Environment and Planning B*, Vol. 35, No. 5, p. 705-725.

- Prévost, A., Roy, L. (1989). Projet d'identification des sites dangereux du réseau routier des MRC de Bellechasse, Desjardins et des Chutes-de-la-Chaudière. Cahiers Techniques, Département de santé communautaire de l'Hôtel-Dieu de Québec, 21 p.
- Pundaleek BH, Manish GR, Vijay-Kumar MG. (2010). Speed control of induction motor: fuzzy logic controller v/s PI controller. *Int J Comput Sci Network Secur.* 10:223–230.
- Ramazi H, Amini A. (2013). Fuzzy logic application in compiling multi geohazards macro-zone maps; case study: Rahdar, 1:25,000 Quadrangle, Khuzestan, Iran. *Arab J Geosci.* doi: [10.1007/s12517-013-0943-0](https://doi.org/10.1007/s12517-013-0943-0).
- Ran. B and Boyce. D. (1996). *Modeling Dynamic Transportation Networks*, 2nd ed., New York: Springer, 1996, pp. 55-62.
- Richardson D. (2001). Generalization of Road Networks. (November 2011). [Online]. Available: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/tekrd/rd/apps/map/current/genrne.html>.
- Robitaille, M., Nguyen, T. (2003). Évaluation de la congestion « de la théorie à la pratique »: Réseau routier de l'agglomération de Montréal. Communication présentée au Congrès 2003 de l'Association des Transports du Canada, St John's – Terre-Neuve. Consulté 10 octobre 2009, tiré de <http://www.tac-atc.ca>
- Saaty, T. (1991). "Response to Holder's Comments on the Analytic Hierarchy Process." *journal of the Operational Research Society* 42(10): 909-929.
- Samadzadegan, F., A. Azizi, M. Hahn and L. Curo. (2005). Automatic 3D object recognition and reconstruction based on neuro-fuzzy modeling. *Photogrammetry & Remote Sensing* 59: 255-277.
- Saint-Gérand Th. (2005). Comprendre pour mesurer ou mesurer pour comprendre ? : HBDS : pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel. in *Modélisations en géographie*, dir. Y. Guermond, éditions Hermès
- Stathopoulos, A. and M.G. Karlaftis. (2001). Temporal and Spatial Variations of Real-Time Traffic Data in Urban Areas. *Transportation Research Record* 1768:135–140.
- Savas Durduran S. (2010). A decision making system to automatic recognize of traffic accidents on the basis of a GIS platform. *Expert Syst Appl.* 37:7729–7736. doi:[10.1016/j.eswa.2010.04.068](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.04.068).
- Sawalha Z, Sayed T. (2006). Transferability of accident prediction models. *Saf Sci.* 44:209–219.
- Selvi Ö (2009). Traffic accident predictions based on fuzzy logic approach for safer urban environments, case study: Izmir metropolitan area. Ph.D Thesis, Izmir Institute of Technology, Turkey
- Sevtsuk A. (2010). Path and Place: A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge and Somerville, MA. PhD Dissertation, MIT Department of Urban Studies and Planning, Cambridge
- Sevtsuk Andres and Mekonnen Michael. (2012). Urban network analysis: A new toolbox for ArcGIS. *Revue internationale de géomatique – n° 2/2012*, 287-305. DOI:[10.3166/RIG.22.287-305](https://doi.org/10.3166/RIG.22.287-305) © 2012 Lavoisier
- Sheffi Yosef. (1985). *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*, Published by: Prentice-Hall, Inc. 1985, pp. 1-25. Englewood Cliffs, NJ 07632
- Silcock, D.T., Smith, A.W. (1985). Methods of identifying accident blackspots. Transport Operations Research Group, Dept. of Civil Engineering, University Of Newcastle Upon Tyne.
- Silverman, B. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, 1st ed. Chapman and Hall, London.

- Sivanandam SN, Sumathi S, Deepa SN. (2007). Introduction to fuzzy logic using MATLAB. Berlin: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-540-35781-0.
- Tabor P. (1976). Networks Distances and Routes. *Geometry of Environment: An Introduction to Spatial Organization in Design*, L. March (Ed.), p. 366-367. Cambridge, MIT Press.
- Takagi T, Sugeno M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Trans. Syst. Man Cyber.*, 15: 116-132.
- Tong-Tong JR. (1995). *La logique floue [Fuzzy logic]*. Paris: Hermès.
- Turner Alasdair. (2001). *Depthmap: A Program to Perform Visibility Graph Analysis*. 3rd International Symposium on Space Syntax. Georgia Institute of Technology, 7-11 May.
- [UNI] Union Nationale des Investisseurs. (2014). *Revue de presse, Suivez l'actualité économique du 10/02/ 2014*.
- UNWIN, D.J. (1996), GIS, spatial analysis and spatial statistics. *Progr. Hum. Geogr.* 20:540–551.
- Vandermissen M.H., Pouliot M., Morin D.R. (1996). Comment estimer l'insécurité d'un site d'accident : état de la question. *Recherche Transports Sécurité*, Vol. 51, p. 49-60.
- Wang Chao. (2010). *The relationship between traffic congestion and road accidents: an econometric approach using GIS*. PhD Thesis at Loughborough University. United Kingdom. (<https://dspace.lboro.ac.uk/>)
- Wang, Y.J., Yu, Z.C., He, S.B., Cheng, J.L. and Zhang, Z.J. (2009). A Data-mining-based Study On Road Traffic Information Analysis And Decision Support, Second Pacific-Asia Conference on Web Mining and Web-based Application, pp.24-27. Consulté novembre 2009, tire de <http://ieeexplore.ieee.org>
- Walsh, J., Dileo, T. (1992). A new approach to a black spot identification program for Queensland. *Proceedings of the 16th Australian Road Research Board*, p. 81-97.
- Weijermars, W.A.M. and E.C. van Berkum. (2004). *Daily Flow Profiles of Urban Traffic*. Urban Transport X. Edited by C.A. Brebbia and L.C. Wadhwa. Southampton, UK: WIT Press.
- White JD, Running SW, Ryan KC, Key CC. (2002). Fuzzy logic merger of spectral and ecological information for improved montane forest mapping. *Geocarto Int.* 17:61–68. doi:10.1080/10106040208542226.
- [WHO] World Health Organization. (2013). *Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action*. Available from: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/index.html
- [WHO] World Health Organization . (2004). *The global burden of disease: 2004 update*. Geneva, World Health Organization, 2008 (http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/2004_report_update/en/, accessed 7 February 2013).
- Wu W.B. and Mielniczuk, J. (2002). Kernel Density Estimation For Linear Processes. *The Annals of statistics*, 30, pp. 1441-1459..
- Xiao, J, BT Kulakowski and M El-Gindy (2000). Prediction of risk of wet-pavement accidents, fuzzy logic model. Paper no.00-0268, *Transportation Research Record* 1717: 28–36.
- Yan H, Zou Z, Wang H (2010). Adaptive neuro fuzzy inference system for classification of water quality status. *J. Environ. Sci.*, 22(12): 1891-1896.

Ye X, Pendyala RM, Washington SP, Konduri K, Oh J. (2009). A simultaneous equations model of crash frequency by collision type for rural intersections. *Saf Sci.* 47:443–452. doi:10.1016/j.ssci.2008.06.007.

Yen J, Langari R, Zadeh LA. (1995). *Industrial applications of fuzzy logic and intelligent systems*. IEEE Neural Networks Council. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Press.

Yin H, Wong SC, Xu J, Wong CK. (2002). Urban traffic flow prediction using a fuzzy-neural approach. *Transp Res Part C Emerg Technol.* 10:85–98.

Zadeh LA. (1965). Fuzzy sets. *Inf Control.* 8:338–353.

Zadeh LA. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – I. *Inf Sci.* 8:199–249.

Zadeh LA. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets Syst.* 1:3–28.