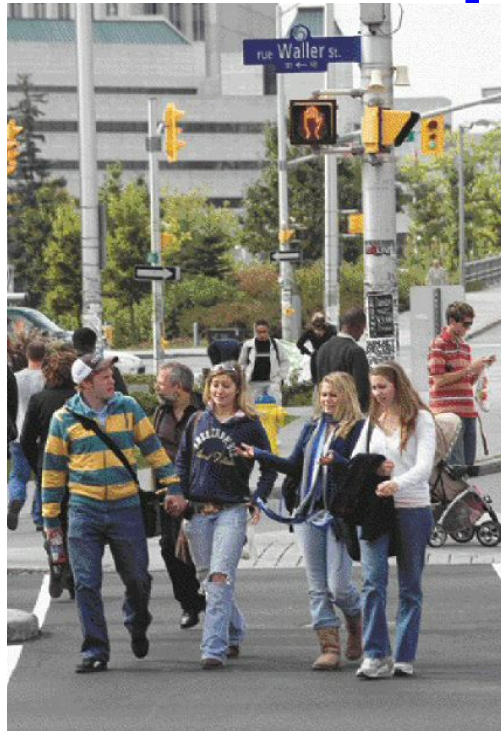


# Programme d'évaluation de la sécurité des piétons axé sur le facteur humain : Document technique



*Document technique faisant état des connaissances et des processus utilisés dans l'établissement des priorités en matière d'investissement dans la sécurité des piétons aux intersections de la Ville d'Ottawa.*

Janvier 2010

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTE.....	1
1.2	LE CONTEXTE À OTTAWA .....	1
1.3	BUTS ET OBJECTIFS.....	2
1.4	ORGANISATION DU RAPPORT .....	2
<b>2</b>	<b>NÉCESSITÉ DE CLASSER LES AMÉLIORATIONS À LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE PAR ORDRE DE PRIORITÉ .....</b>	<b>3</b>
2.1	CONTEXTE.....	3
2.2	STRUCTURE GÉNÉRALISÉE D'ÉTABLISSEMENT DES PRIORITÉS EN MATIÈRE D'AMÉLIORATION À LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE .....	4
2.3	AVANTAGES D'UN PROGRAMME D'ÉVALUATION DE LA SÉCURITÉ DES PIÉTONS .....	5
2.4	ÉTAPES À VENIR .....	6
<b>3</b>	<b>ÉLABORATION D'UN PROCESSUS DE COLLABORATION .....</b>	<b>7</b>
3.1	CONTEXTE.....	7
3.2	LE PROCESSUS PROPOSÉ .....	7
<b>4</b>	<b>BESOINS DES USAGERS DE LA ROUTE AUX INTERSECTIONS.....</b>	<b>10</b>
4.1	CONTEXTE.....	10
4.2	OBJECTIF DE LA PRÉSENTE SECTION .....	10
4.3	CARACTÉRISTIQUES ET LIMITES DES USAGERS DE LA ROUTE .....	11
4.3.1	<i>Attention et traitement de l'information</i> .....	11
4.3.2	<i>Vision</i> .....	13
4.3.2.1	Acuité visuelle.....	13
4.3.2.2	Sensibilité au contraste.....	14
4.3.2.3	Vision périphérique.....	14
4.3.2.4	Mouvement au loin .....	15
4.3.2.5	Recherche visuelle .....	16
4.3.3	<i>Temps de perception-réaction</i> .....	17
4.3.3.1	Perception .....	18
4.3.3.2	Décision .....	18
4.3.3.3	Réaction .....	19
4.3.3.4	Temps de perception-réaction dans diverses circonstances.....	19
4.3.4	<i>Choix de la vitesse</i> .....	20
4.3.4.1	Indices de perception.....	20
4.3.4.2	Indices de la route .....	21
4.3.5	<i>Vitesse de marche des piétons</i> .....	22
4.3.6	<i>Orientation positive</i> .....	22
4.4	TYPES DE COLLISIONS AUX INTERSECTIONS : ERREURS ET MESURES PRÉVENTIVES .....	23
4.4.1	<i>Tâches des usagers de la route aux intersections</i> .....	23
4.4.2	<i>Collisions par l'arrière et frottements latéraux</i> .....	24
4.4.2.1	Erreurs à l'origine de ce type de collision.....	24
4.4.2.2	Mesures préventives.....	25
4.4.3	<i>Collisions pendant un virage</i> .....	25
4.4.3.1	Erreurs à l'origine de ce type de collision.....	25
4.4.3.2	Mesures préventives.....	26
4.4.4	<i>Collisions en angle</i> .....	26
4.4.4.1	Erreurs à l'origine de ce type de collision.....	26
4.4.4.2	Mesures préventives.....	27

4.4.5	<i>Collisions impliquant des usagers de la route vulnérables</i> .....	27
4.4.5.1	Erreurs à l'origine de ce type de collision.....	27
4.4.5.2	Mesures préventives.....	29
4.5	RÉSUMÉ.....	32
4.6	LISTE DES RÉFÉRENCES INDIQUÉES DANS LA PRÉSENTE SECTION DE CE RAPPORT .....	33
<b>5</b>	<b>DOCUMENTATION SUR LA SÉCURITÉ DES PIÉTONS .....</b>	<b>37</b>
5.1	CONTEXTE.....	37
5.2	AU SUJET DES DONNÉES HISTORIQUES RELATIVES AUX COLLISIONS IMPLIQUANT DES PIÉTONS .....	37
5.3	LA RELATION ENTRE LA SÉCURITÉ ET LES CARACTÉRISTIQUES D'UN EMPLACEMENT.....	38
5.4	PROJETS DE RECHERCHE DE LA FHWA .....	38
5.4.1	<i>Système expert PEDSAFE</i> .....	39
5.4.2	<i>Indice de sécurité des piétons et des cyclistes aux intersections</i> .....	39
5.5	RECHERCHE DU NCHRP .....	39
5.5.1	<i>Volume 10 de la série de rapports n° 500 du NCHRP</i> .....	39
5.5.2	<i>Méthode de prévision de la sécurité des piétons du NCHRP</i> .....	40
5.6	RÉSUMÉ DES CONSTATATIONS.....	40
<b>6</b>	<b>ÉLABORATION DES OUTILS D'ANALYSE .....</b>	<b>42</b>
6.1	CONTEXTE.....	42
6.2	OUTIL D'ÉTABLISSEMENT DE PRIORITÉS .....	42
6.2.1	<i>Introduction</i> .....	42
6.2.2	<i>L'algorithme</i> .....	42
6.2.3	<i>Besoins en matière de données</i> .....	43
6.2.4	<i>Limites de l'outil</i> .....	43
6.2.5	<i>Incorporer l'historique des collisions</i> .....	44
6.3	OUTIL DE SÉLECTION DE MESURES PRÉVENTIVES .....	44
6.3.1	<i>Introduction</i> .....	44
6.3.2	<i>Étapes principales</i> .....	44
6.3.3	<i>Besoins en matière de données</i> .....	46
6.3.4	<i>Résultats et conclusions</i> .....	46
6.3.5	<i>Limites</i> .....	47
<b>7</b>	<b>RÉFLEXION FINALE .....</b>	<b>48</b>

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 :	LES DEUX EXTRÉMITÉS DU SPECTRE DE GESTION DE LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE.....	3
FIGURE 2 :	PASSAGE POUR PIÉTONS DE TYPE BARNES DANCE À TORONTO, EN ONTARIO .....	4
FIGURE 3 :	STRUCTURE TYPIQUE D'UN PROGRAMME D'ÉVALUATION DE LA SÉCURITÉ DES PIÉTONS .....	5
FIGURE 4 :	EMPLACEMENT OÙ IL EST DIFFICILE POUR LES PIÉTONS DE FRANCHIR L'INTERSECTION.....	7
FIGURE 5 :	PROCESSUS DE PROGRAMMATION PROPOSÉ .....	8
FIGURE 6 :	AUTOMOBILISTE CONTREVENANT AUX RÈGLES D'ARRÊT DEVANT UN PASSAGE POUR PIÉTONS 9	
FIGURE 7 :	VISIBILITÉ D'UNE CIBLE EN VISION PÉRIPHÉRIQUE.....	15
FIGURE 8 :	RELATION ENTRE LA DISTANCE DE VISUALISATION ET LA TAILLE D'UNE CIBLE AU LOIN .....	16
FIGURE 9 :	RUE AXÉE SUR LES PIÉTONS .....	36
FIGURE 10 :	ALGORITHME D'ÉTABLISSEMENT DE PRIORITÉS .....	43
FIGURE 11 :	EMPLACEMENT D'UN PASSAGE POUR PIÉTONS ÉVALUÉ.....	43
FIGURE 12 :	PROCESSUS DE SÉLECTION DE MESURES PRÉVENTIVES .....	45

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 Contexte

Les piétons et les autres usagers de la route vulnérables représentent une partie importante du portrait global de la sécurité routière. En l'an 2000, 567 usagers de la route vulnérables<sup>1</sup> ont été tués au Canada, soit près de 20 % de l'ensemble des mortalités routières au pays. De ce nombre, 367 étaient des piétons. Aussi, plus de 13 700 personnes ont subi des lésions corporelles à la suite d'un accident de la route.

Près de 70 % des décès chez les piétons sont survenus en milieu urbain, dont les deux tiers à des intersections. Bien que les statistiques montrent que le nombre de victimes d'accidents de la route est inférieur chez les personnes de 65 ans et plus que chez la majorité des autres groupes d'âge, les aînés sont beaucoup plus susceptibles d'être blessés grièvement ou d'être tués à la suite d'une collision avec un véhicule automobile que les piétons plus jeunes<sup>2</sup>. Au Canada, plus du tiers de tous les décès chez les piétons touchent une personne âgée, ce qui constitue une surreprésentation importante de ce groupe d'âge.

Dans son manuel de contrôle des passages pour piétons intitulé *Pedestrian Crossing Control Manual*, l'Association des transports du Canada (ATC) affirme :

*Les passages pour piétons posent un très grand problème pour le milieu de l'ingénierie de la sécurité et de la circulation.*<sup>3</sup>

Dans son ouvrage précurseur sur l'ingénierie de la sécurité routière, Kenneth Ogden abonde en ce sens :

*Il faut tenir compte des piétons, des cyclistes et des autres usagers de la route vulnérables dans tout projet de conception d'installations routières et de gestion de la circulation, en particulier sur le plan de la sécurité routière.*<sup>4</sup>

### 1.2 Le contexte à Ottawa

La marche occupe une place importante dans les habitudes de déplacement à Ottawa. En effet, dans le cadre d'un autre projet pour la Ville, on a estimé que les déplacements piétonniers se chiffraient en 2001 à plus de 81 millions, soit près de 12 % de tous les déplacements annuels effectués à Ottawa. La grande majorité de ces déplacements ont

<sup>1</sup> Les usagers de la route vulnérables comprennent les piétons, les cyclistes et les patineurs à roues alignées. Parmi les piétons, il est habituellement nécessaire d'accorder une attention toute particulière aux besoins des personnes âgées, des personnes handicapées (qui se déplacent par leurs propres moyens ou en fauteuil roulant) et des enfants.

<sup>2</sup> C. V. Zeeger et collab. *Pedestrian Facilities Users Guide: Providing Safety and Mobility*, Federal Highway Administration, McLean, Virginie, 2001. p.12.

<sup>3</sup> Association des transports du Canada. *Pedestrian Crossing Control Manual*, Ottawa, Canada, 1998. p. 1.

<sup>4</sup> K. W. Ogden. *Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering*, Avebury Technical, Aldershot, Angleterre. 1996, p. 365.

été faits dans la zone urbanisée de la ville, dont environ 40 % en période de pointe et près de 58 % le reste du temps<sup>5</sup>. Ces résultats s'approchent de la part modale quotidienne de 15 % du transport en commun à Ottawa. Compte tenu de cette réalité, il ne faut pas s'étonner de l'intérêt marqué de la collectivité envers la sécurité des piétons.

### 1.3 Buts et objectifs

Le but général de cette étude est d'accroître les capacités de la Ville à traiter les questions de sécurité des piétons et, en particulier, à améliorer le processus qu'elle utilise pour planifier clairement et proactivement ses investissements dans la sécurité des piétons visant à satisfaire aux besoins de ces derniers.

Plus précisément, les objectifs de ce projet tiennent compte des besoins suivants :

- Mieux comprendre la relation entre les besoins des piétons et les questions de sécurité aux intersections à feux et aux intersections sans feux de circulation.
- Mettre au point deux grands processus qui proposent :
  - une approche globale de planification des améliorations à la sécurité routière axées expressément sur les besoins des piétons aux intersections à feux et sans feux qui permet aux citoyens d'exprimer leurs commentaires et de débattre de la question et qui mène à la détermination des intersections devant faire l'objet d'une étude détaillée;
  - une analyse technique solide visant à classer les sites concernés par ordre de priorité et à déterminer des mesures préventives potentielles appropriées.

### 1.4 Organisation du rapport

Ce rapport débute par la présente introduction suivie à la section 2 d'un examen des principes d'établissement des priorités en matière de sécurité routière. La troisième section traite d'un processus de planification général portant sur l'utilisation d'un processus d'établissement de priorités conjoint entre le personnel technique de la Ville et des représentants de la collectivité visant à améliorer les intersections pour assurer la sécurité des piétons à Ottawa. Les besoins et les attentes des usagers de la route en ce qui concerne les passages pour piétons aux intersections sont analysés à la quatrième section, ce qui contribue à l'établissement de bases solides axées sur le facteur humain pour différents éléments techniques et analytiques de la méthode de détermination des priorités. La section 5 porte sur une évaluation des pratiques actuelles et les nouvelles techniques utilisées de diverses façons comme fondement technique pratique du programme d'évaluation de la sécurité des piétons de la Ville d'Ottawa. À la sixième section, on décrit deux outils d'analyse importants élaborés au fil de nos travaux. Ces outils sont destinés à l'établissement des priorités en matière d'amélioration à la sécurité des intersections axées sur les piétons ainsi qu'à la sélection des mesures préventives potentielles. Plusieurs remarques conclusives sont fournies à la septième et dernière section du présent document.

---

<sup>5</sup> Prévisions établies en fonction des données de la Ville d'Ottawa et dans le cadre du projet de révision *The Costs of Travel in Ottawa* de 2003.

## 2 NÉCESSITÉ DE CLASSER LES AMÉLIORATIONS À LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE PAR ORDRE DE PRIORITÉ

### 2.1 Contexte

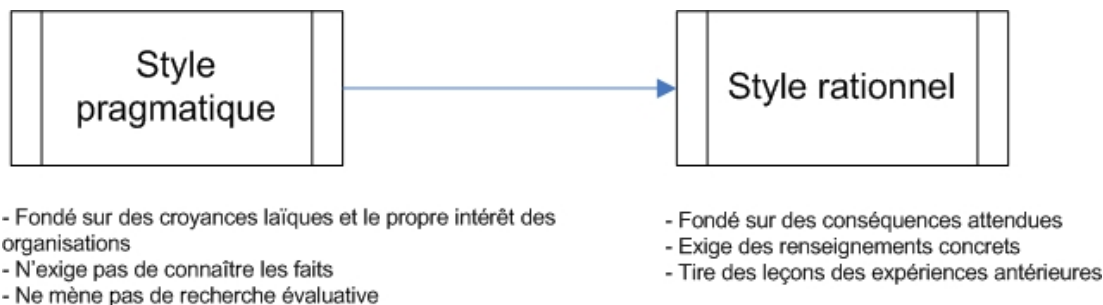
Il fait peu de doute que le processus fondamental visant à classer par ordre de priorité les possibilités d'investissement dans l'amélioration de la sécurité routière évolue rapidement<sup>6</sup>. Ezra Hauer définit et clarifie admirablement bien ce processus, qu'il qualifie d'« analyse de réseau » :

*Il est possible d'analyser le réseau routier à peu de frais étant donné que ce processus repose sur l'utilisation automatisée des données sur les sites, la circulation et les accidents conservés sur support électronique. Cette analyse génère une liste de sites classés par ordre de priorité aux fins d'un examen plus approfondi et coûteux. Celui-ci, souvent appelé « étude technique détaillée » (ETD) s'applique seulement aux sites apparaissant parmi les premiers de la liste. L'exécution d'une ETD vise à mettre au point des projets rentables d'amélioration de la sécurité<sup>7</sup>.*

Ce type d'approche est analogue à la technique du système de gestion des chaussées consistant à « gérer la chaussée au niveau du réseau routier » pour définir les priorités en matière d'investissement et « gérer la chaussée au niveau des projets » pour sélectionner des stratégies d'adaptation particulières parmi plusieurs solutions de rechange pour chaque projet prioritaire.

L'augmentation du nombre d'outils d'établissement de priorités chiffrées, et l'intérêt grandissant à leur égard, font partie intégrante de la migration croissante dans le secteur de la sécurité routière que Hauer qualifie de migration du « style pragmatique » au « style rationnel » de la gestion de la sécurité. Il représente cette réalité dans la figure 1 ci-dessous.

Figure 1 : Les deux extrémités du spectre de gestion de la sécurité routière<sup>8</sup>



<sup>6</sup> E. Hauer et collab. *Screening the Road Network for Sites with Promise*, article rédigé pour la Conférence 2002 du Transportation Research Board, TRB, Washington, D.C., 2002.

<sup>7</sup> Ibidem, p. 1.

<sup>8</sup> E. Hauer. *Workforce for Road Safety Management*, article rédigé aux fins de présentation à l'atelier Highway Safety Workforce Planning Workshop, San Antonio, Texas, 3 et 4 avril 2002.

## 2.2 Structure généralisée d'établissement des priorités en matière d'amélioration à la sécurité routière

La section précédente a établi la base pour la description d'un programme généralisé d'amélioration de la sécurité routière ou d'évaluation de la sécurité des piétons, dont le but est de déterminer les possibilités d'investissement dans des projets techniques de sécurité routière rentables et appropriés. Ces programmes comprennent habituellement les éléments suivants :

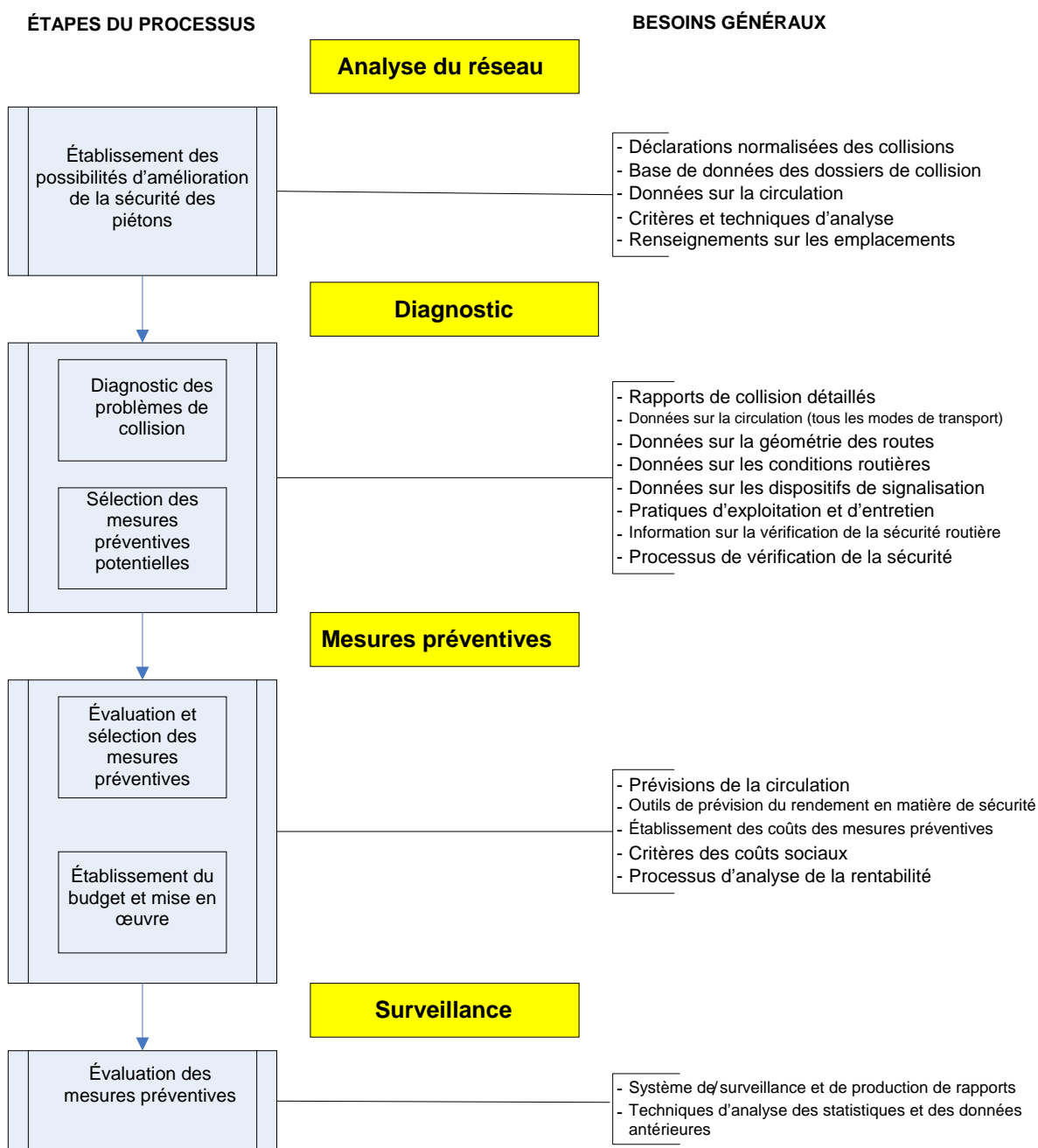
1. Une phase d'établissement des priorités ou d'« analyse de réseau » en vue de déterminer les emplacements affichant un taux élevé de collisions.
2. Une phase de diagnostic ou d'enquête dans le cadre de laquelle on détermine les facteurs de causalité possibles et on choisit les mesures préventives potentielles pour chaque projet hautement prioritaire devant être inclus dans le programme. Ces enquêtes font partie intégrante du programme d'étude technique détaillée (ETD);
3. Une phase d'évaluation et de planification des mesures préventives dans le cadre de laquelle on formule des recommandations propres aux projets, on finalise et met en œuvre un programme des travaux classés par ordre de priorité. La phase de mise en œuvre doit également comprendre un volet de surveillance et d'évaluation de diverses mesures préventives.

La structure typique d'un programme d'évaluation de la sécurité est illustrée à la figure 3 à la page suivante.

Figure 2 : Passage pour piétons de type Barnes Dance à Toronto, en Ontario



Figure 3 : Structure typique d'un programme d'évaluation de la sécurité des piétons



### 2.3 Avantages d'un programme d'évaluation de la sécurité des piétons

Un programme d'évaluation de la sécurité des piétons est essentiellement un système d'aide à la décision. Chacun de ses quatre volets fondamentaux (Analyse de réseau, Diagnostic, Évaluation des mesures préventives et Surveillance) contribue à préciser



davantage les renseignements accessibles à un décideur tentant de déterminer les secteurs où il serait préférable d'affecter des fonds en vue d'améliorer la sécurité routière. À la suite de l'adoption officielle et de la mise en œuvre de ce genre de programme doté d'outils à valeur ajoutée tels que des logiciels ou des processus, le système d'aide à la décision qui en résulte produit un rendement du capital investi de deux façons :

- en augmentant la vitesse du processus décisionnel (efficacité);
- en augmentant la justesse de la décision prise (gestion des risques et qualité).

Aucun indicateur quantitatif des ratios coûts-avantages associés à la mise en œuvre des systèmes de gestion de la sécurité et de leurs composantes n'offre un aussi bon encadrement que les programmes d'évaluation de la sécurité des piétons. Les expériences antérieures dans les domaines techniques analogues d'aide à la décision, comme la gestion de la chaussée, laissent cependant entrevoir que même si les gains en efficacité sont importants et très significatifs, c'est la plus grande justesse des décisions prises et des priorités établies en matière d'investissement dans la sécurité routière qui est la plus avantageuse pour le concepteur du système d'aide à la décision en matière de sécurité routière.

## 2.4 Étapes à venir

Pour atteindre les objectifs de cette étude dans le contexte de la structure illustrée à la figure 3, il faut répondre à deux grandes questions :

- À quoi ressemblera le processus dans son ensemble? Comment faire pour collaborer avec les différents groupes communautaires puis créer une liste de sites pour l'étape de la planification?
- Quels sont les processus scientifiques et techniques requis pour créer une liste de sites nécessitant des mesures préventives en matière de sécurité des piétons classés par ordre de priorité?

Les réponses aux deux premières questions sur l'ensemble du processus sont fournies à la troisième section et celles à la deuxième question au sujet des analyses scientifiques et techniques nécessaires à l'exécution de l'approche de planification sont indiquées aux sections 4, 5 et 6.



### 3 ÉLABORATION D'UN PROCESSUS DE COLLABORATION

#### 3.1 Contexte

La Ville d'Ottawa exige l'établissement d'un processus de résolution des problèmes liés à la sécurité des piétons aux intersections. Ce processus doit compter sur la participation de groupes communautaires aux étapes de collecte de données et de prise de décision. À partir de ces exigences, et conformément à la structure des programmes d'évaluation de la sécurité des piétons dont il est question à la deuxième section, un processus de planification a été élaboré en fonction du contexte de la Ville d'Ottawa.

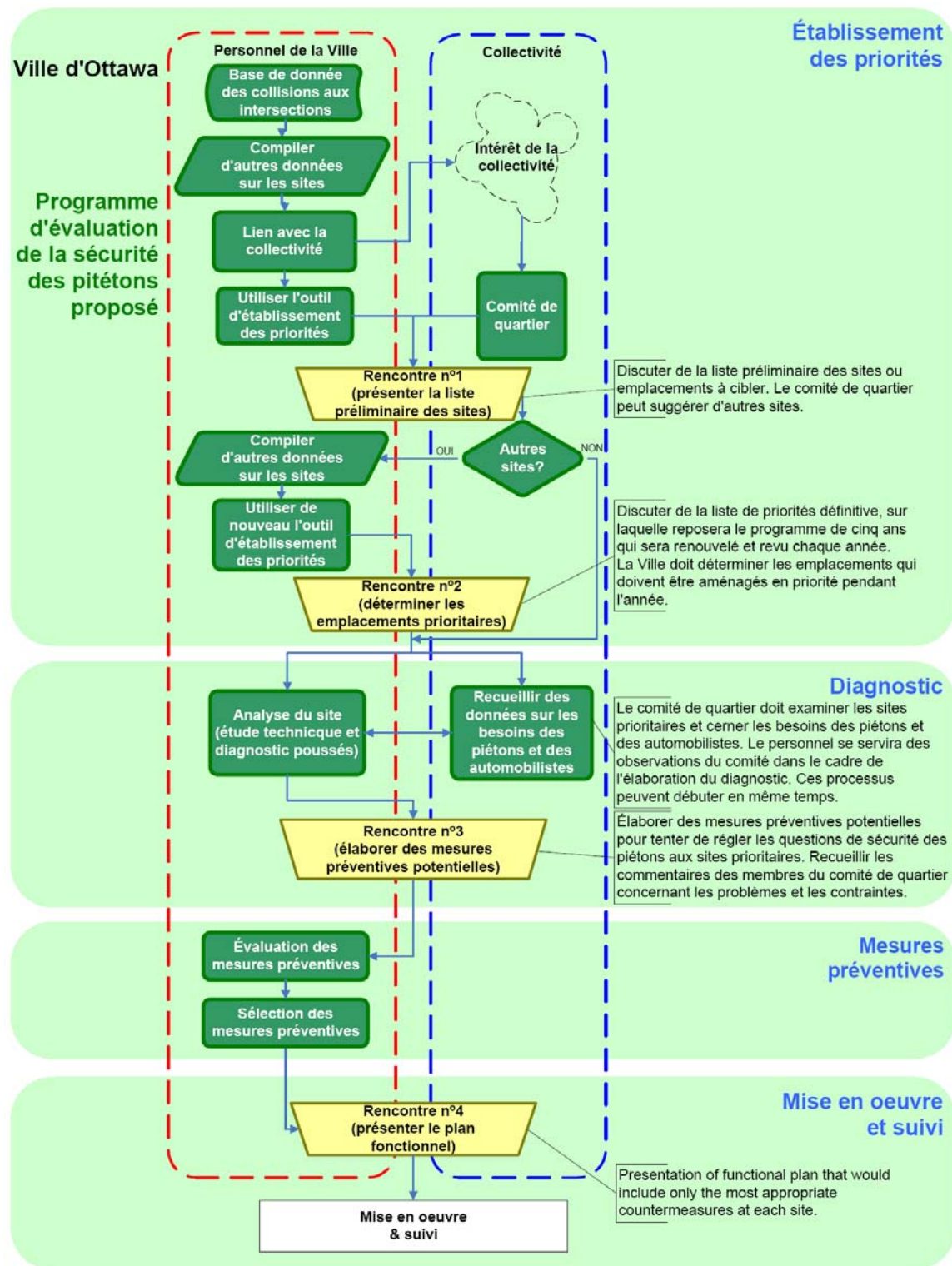
#### 3.2 Le processus proposé

Une illustration du processus proposé est fournie à la figure 5.

*Figure 4 : Emplacement où il est difficile pour les piétons de franchir l'intersection*



Figure 5 : Processus de programmation proposé



Pour certains éléments du processus, le personnel de la Ville doit fournir des données et procéder à des analyses tandis que pour d'autres, il faut recueillir des données et demander l'opinion de différents groupes communautaires. Pendant le processus de planification, le personnel de la Ville et les membres des groupes communautaires participent à quatre réunions de consultation pour discuter de leurs constatations et résultats. Ces événements leur donnent l'occasion d'expliquer les décisions prises (depuis le début du processus) ainsi que de présenter leurs commentaires et suggestions pour les étapes à venir.

Ce type de programme devrait durer de dix à douze mois, soit du début du processus de collecte de données jusqu'à l'élaboration d'un programme quinquennal d'établissement des sites nécessitant des améliorations en matière de sécurité.

*Figure 6 : Automobiliste contrevenant aux règles d'arrêt devant un passage pour piétons*



## 4 BESOINS DES USAGERS DE LA ROUTE AUX INTERSECTIONS

### 4.1 Contexte

La présente section a été rédigée par Human Factors North Inc. (HFN) au nom de Delphi-MRC. HFN est l'une des principales sociétés d'experts-conseils au Canada à se spécialiser dans les facteurs humains en transport. Les renseignements présentés dans cette section sont tirés textuellement des documents fournis par HFN de façon à préserver l'intégrité des données scientifiques et des directives fournies à cet égard. M<sup>me</sup> Alison Smiley, membre du Conseil canadien de certification des praticiens en ergonomie, et M. Tom Smahel en sont les principaux auteurs.

### 4.2 Objectif de la présente section

Au nom de la Ville d'Ottawa, Delphi-MRC a demandé à Human Factors North Inc. d'examiner la documentation dans les buts suivants :

- Rédiger un résumé clair et concis de l'état actuel des connaissances en ce qui a trait aux principaux besoins relatifs au facteur humain des piétons et des conducteurs en ce qui concerne l'utilisation sécuritaire des intersections à feux et sans feux de circulation.
- Déterminer les caractéristiques importantes des processus de conception et d'exploitation des intersections à feux et sans feux de circulation qui influent le plus directement sur la capacité des piétons à franchir une intersection en toute sécurité et sur leur **perception** du niveau de sécurité aux intersections.

Pour atteindre ces objectifs, cet examen s'appuie sur les documents déjà rédigés par l'auteur (chapitre 2 du manuel américain *Highway Safety Manual*) et présente les éléments fondamentaux des facteurs humains qui influent sur le comportement des conducteurs et des piétons aux intersections. En comprenant davantage comment les conducteurs et les piétons agissent aux intersections, il est plus facile de concevoir et de construire des intersections de façon à réduire les erreurs humaines et les collisions qui en découlent.

Les usagers de la route commettent fréquemment des erreurs en raison de leurs limites physiques, perceptives et cognitives. Très peu d'accidents sont causés par ces erreurs étant donné que les usagers de la route savent réagir aux erreurs des autres ou que les circonstances sont favorables (p. ex., un conducteur dispose d'une marge de manœuvre pour éviter un accident). Les accidents sont beaucoup moins nombreux que les conflits et les collisions évités de justesse. D'ailleurs, une étude a déjà fait état d'un ratio conflit-collision d'environ 2 000 pour 1 aux intersections en milieu urbain (Older et Spicer, 1976).

Les erreurs commises par les usagers de la route sont des facteurs importants contribuant à la majorité des collisions (Treat, Tumbas, McDonald, Shinar, Hume, Mayer, Stansfin et Castellen, 1977). Les conducteurs peuvent faire des erreurs de jugement en ce qui a trait, par exemple, à la vitesse de rapprochement, à la distance à laquelle ils suivent un autre véhicule ainsi qu'à la vitesse d'approche des intersections. Des erreurs peuvent également être commises par un conducteur inattentif, fatigué, distrait par une situation sur la route ou à l'intérieur du véhicule ou incapable de traiter toute l'information nécessaire pour exécuter plusieurs tâches simultanément. Pour éviter d'enregistrer trop d'information, les conducteurs se fient à leurs connaissances a priori,

fondées sur la façon dont ils ont appris à réagir. Par conséquent, ils sont davantage susceptibles de commettre des erreurs lorsque des situations inattendues surviennent. Il arrive également que les conducteurs enfreignent délibérément les lois et fassent fi des dispositifs de signalisation. Les piétons aussi peuvent se montrer distraits, mal juger la distance et la vitesse des véhicules et ne pas respecter les lois et les dispositifs de signalisation de façon délibérée.

La conception des routes et la signalisation influent grandement sur la sécurité routière aux intersections, peu importe si les erreurs des usagers de la route sont intentionnelles ou non. Il est possible de réduire la probabilité d'erreur lorsqu'on conçoit une route en tenant compte des habiletés motrices et de la capacité de traitement d'information visuelle variée des conducteurs et des piétons. Dans le même ordre d'idées, il se peut qu'une erreur d'un conducteur soit moins susceptible d'entraîner de graves conséquences si l'environnement routier est favorable.

La prochaine section porte sur les caractéristiques et limites humaines qui influent sur le comportement de tous les usagers de la route. On insistera sur les limites des conducteurs simplement en raison du fait qu'ils se déplacent plus rapidement que les autres usagers de la route et, par conséquent, ils doivent aussi traiter l'information plus rapidement. La section 4.4 porte sur les types de collisions aux intersections causées par les limites des usagers de la route ainsi que sur les mesures préventives potentielles pouvant réduire les erreurs humaines à l'origine de collisions. Un résumé du rapport est fourni à la section 4.5.

### **4.3 Caractéristiques et limites des usagers de la route**

On expose dans la présente section les grandes lignes des capacités et des limites fondamentales des conducteurs pouvant influencer sur la sécurité. Les sujets couverts sont l'attention au volant, la capacité de traiter l'information, les aptitudes visuelles, le temps de perception-réaction et le choix de la vitesse.

#### **4.3.1 Attention et traitement de l'information**

L'être humain n'a pas une capacité d'attention et de traitement de l'information illimitée. D'ailleurs, ces limites peuvent occasionner divers problèmes, en particulier pour les conducteurs qui doivent exécuter simultanément des tâches de maintien du véhicule, d'orientation et de navigation. Le maintien du véhicule consiste à garder la vitesse désirée et à demeurer à l'intérieur d'une voie. La tâche d'orientation consiste à interagir avec les autres véhicules (suivre, dépasser, converger, etc.) en gardant un créneau sécuritaire et en respectant les marques sur la chaussée, les feux de circulation et la signalisation. La tâche de navigation consiste à suivre un itinéraire du point de départ au point d'arrivée en se fiant à des panneaux indicateurs et à des points de repère (Lunenfeld et Alexander, 1990).

Une expérience de conduite réussie se définit par la capacité du conducteur à exécuter facilement ces trois tâches et à porter son attention sur l'une ou l'autre des tâches selon les circonstances. Pour ce faire, le conducteur ne peut traiter un grand volume d'information simultanément dans les sous-tâches de maintien du véhicule, d'orientation et de navigation.

Même s'ils peuvent rapidement détourner leur attention d'une source d'information à une autre, les usagers de la route peuvent seulement être attentifs à une source à la fois. De plus, ils peuvent seulement assimiler une petite partie de l'information accessible

pendant la conduite. On estime d'ailleurs que plus d'un milliard d'éléments d'information, chacun équivalent à la réponse affirmative ou négative d'une question fermée, sont transmis au système sensoriel par seconde. En moyenne, les êtres humains ne devraient reconnaître consciemment que 16 éléments d'information par seconde (McCormick, 1970). C'est pourquoi on conduit mieux lorsque les routes et les dispositifs de signalisation sont conçus d'une façon répondant aux attentes, puisqu'il n'y a pas trop d'information à traiter simultanément. Les conducteurs sont plus susceptibles de commettre des erreurs de conduite lorsqu'ils doivent traiter un surplus d'information, par exemple quand ils cherchent un panneau de nom de rue à l'approche d'une intersection complexe qu'ils n'ont jamais traversée. Les erreurs sont aussi plus fréquentes lorsque les conducteurs doivent prendre une décision rapidement, par exemple ralentir à un feu jaune ou continuer leur route à l'approche de la bande d'arrêt.

Voici les éléments pris en compte pour améliorer la conception des routes en vue de réduire la charge de travail des conducteurs :

- Présenter l'information de façon uniforme afin d'assurer une charge de travail appropriée.
- Présenter l'information en séquence, et non simultanément.
- Veiller à ce que les conducteurs n'aient pas un surplus d'information à traiter simultanément dans plus d'une des tâches de maintien du véhicule (p. ex., prendre une courbe prononcée), d'orientation (p. ex., circuler sur une partie d'une piste cyclable à un virage) ou de navigation (p. ex., lire les panneaux de noms de rue écrits en petits caractères).

Non seulement les conducteurs ont des limites en matière de traitement de l'information, mais ils ne peuvent également pas maîtriser consciemment, entièrement, leur niveau d'attention. La conduite d'un véhicule est une tâche très automatique pour ceux et celles qui comptent passablement d'expérience au volant. Cela dit, il est fréquent qu'on conduise tout en songeant à autre chose. La majorité des conducteurs ont déjà pris conscience qu'il leur est arrivé de ne pas porter attention à leur conduite pendant les derniers kilomètres de leur trajet, surtout sur une route qu'ils connaissaient. Moins la conduite est exigeante, plus le conducteur risque d'être distrait, que ce soit par une préoccupation personnelle ou par une tâche n'étant aucunement liée à la conduite. Plusieurs facteurs comme l'augmentation de la congestion ou l'augmentation des pressions sociales concernant la productivité pourraient également constituer des sources de distraction ou d'inattention pour les conducteurs. Un conducteur inattentif peut ne pas avoir le temps de réagir à un véhicule ralentissant soudainement, au changement d'un feu de circulation, ainsi qu'à un véhicule ou à un piéton traversant une intersection en sens inverse.

L'un des moyens de diminuer l'incidence des limites des conducteurs en matière de traitement de l'information, c'est de concevoir des routes qui correspondent aux attentes de leurs usagers. Lorsque ces derniers peuvent se fier à leur expérience pour se déplacer, ils n'ont qu'à traiter l'information nouvelle ou inconnue. Les conducteurs se créent des attentes à court et à long terme. Voici des exemples d'attentes à long terme d'un conducteur sur une route qu'il ne connaît pas :

- À l'intersection d'une route secondaire et d'une route principale, le panneau d'arrêt est installé sur la route secondaire.

- À l'approche d'une intersection, les conducteurs doivent se placer dans la voie de gauche pour tourner à gauche sur la rue transversale.

Voici un exemple d'attente à court terme :

- Après avoir circulé sur une route comportant des arrêts toutes directions les conducteurs ne peuvent pas s'attendre à une intersection avec panneau d'arrêt dans deux directions, surtout si la route principale n'est pas nettement différente des carrefours précédents.

#### 4.3.2 Vision

Parmi toute l'information utilisée par les usagers de la route, environ 90 % est visuelle (Hills, 1980). L'acuité visuelle est le plus connu des aspects de la vision associés à la conduite, mais de nombreux autres aspects sont tout aussi importants. Voici les différents aspects de la vision nécessaires à la conduite qui seront décrits dans la présente sous-section :

- Acuité visuelle – capacité à voir les détails d'une cible à une distance donnée
- Sensibilité au contraste – capacité à percevoir les variations légères de la luminance (niveau de lumière) entre un objet et l'arrière-plan
- Vision périphérique – capacité à percevoir les objets qui ne sont pas situés droit devant
- Mouvement au loin – capacité à estimer la vitesse d'un autre véhicule en fonction des variations de l'angle visuel de ce véhicule
- Recherche visuelle – capacité à examiner l'activité routière en constant changement pour recueillir de l'information

##### 4.3.2.1 Acuité visuelle

L'acuité visuelle détermine dans quelle mesure les conducteurs peuvent voir les détails d'une cible à une distance donnée. Cet aspect est important pour les tâches d'orientation et de navigation, qui exigent de bien lire les panneaux de signalisation et repérer les dangers potentiels devant soi.

Dans des conditions idéales (lumière du jour, texte noir sur blanc, période de temps illimitée), une personne ayant une acuité visuelle de 20/20, ce qu'on considère comme une « vision normale », peut seulement lire les lettres qui sous-tendent un angle de cinq minutes d'arc. Une personne ayant une acuité visuelle de 20/40 est en mesure de lire des lettres qui sous-tendent le double de cet angle, soit 10 minutes d'arc. Pour ce qui est des panneaux de signalisation, une personne ayant une acuité visuelle de 20/20 arrive à peine à lire les lettres de cinq centimètres de haut à une distance de 34 mètres, les lettres de dix centimètres de haut à une distance de 68 mètres, et ainsi de suite. Il faudrait que ces lettres soient deux fois plus grandes pour qu'une personne ayant une acuité visuelle de 20/40 soit en mesure de les lire. Afin que plus de 95 % des jeunes conducteurs et de 75 % à 85 % des conducteurs plus âgés soient en mesure de lire les panneaux de signalisation dans toutes les conditions routières, il faudrait établir la hauteur des lettres selon une acuité visuelle de 4,8 mètres par chaque centimètre de hauteur des caractères (Mace, Garvey et Heckard, 1994).



#### 4.3.2.2 Sensibilité au contraste

La sensibilité au contraste est souvent considérée comme plus importante pour la sécurité des conducteurs que l'acuité visuelle. La sensibilité au contraste est la capacité à percevoir les variations légères de la luminance (éclat de la lumière) entre un objet et l'arrière-plan. Plus le niveau de lumière ambiante est bas, plus le conducteur a besoin de contrastes pour voir une cible au loin, comme une courbe, un débris sur la route ou un piéton.

Une acuité visuelle élevée n'est pas nécessairement synonyme de sensibilité au contraste élevée. Pour les personnes ayant une acuité visuelle normale de 20/20, la distance à laquelle les objets non réfléchissants sont aperçus la nuit peut varier d'un facteur de 5 à 1 (Olson et Sivak, 1983).

Il se peut que les conducteurs ayant une acuité visuelle normale, mais une faible sensibilité au contraste doivent s'approcher très près d'une cible de faible contraste avant de l'apercevoir. Différentes études expérimentales montrent que même les conducteurs sur le qui-vive peuvent s'approcher jusqu'à huit mètres d'un piéton aux vêtements foncés se trouvant sur le côté gauche de la route avant de pouvoir l'apercevoir (Olson et Sivak, 1983). En général, les piétons ont tendance à surestimer leur propre visibilité pour les conducteurs la nuit. En moyenne, les conducteurs aperçoivent les piétons à la moitié de la distance à laquelle les piétons croient qu'ils sont visibles (Allen, Hazlett, Tacker et Graham, 1970). Ainsi, un piéton peut s'éloigner du bord de la route en croyant que les conducteurs l'ont vu, ce qui surprend ces derniers et entraîne une collision ou une quasi-collision.

#### 4.3.2.3 Vision périphérique

L'être humain a un grand champ visuel, soit quelque 55 degrés au-dessus de l'axe horizontal, 70 degrés au-dessous de l'axe horizontal, 90 degrés vers la gauche et 90 degrés vers la droite. Cependant, une seule petite partie du champ visuel permet une vision précise. Cette zone de vision précise comprend un cône d'environ deux à quatre degrés du foyer. Le champ visuel de faible résolution à l'extérieur de la zone de vision précise est appelé « vision périphérique ». Même avec une acuité réduite, un conducteur peut apercevoir une cible d'intérêt grâce à une vision périphérique de faible résolution. Une fois que le conducteur aperçoit ladite cible, ses yeux s'ajustent automatiquement de façon à voir la cible avec la partie de l'œil offrant la vision la plus précise.

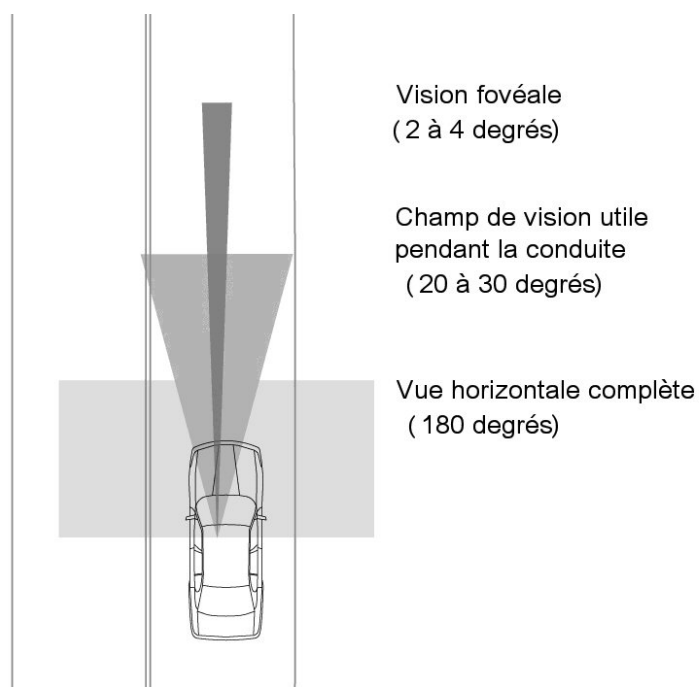
Les usagers de la route doivent pouvoir apercevoir plusieurs types de cibles en périphérie, notamment des véhicules à une intersection, des piétons, des panneaux de signalisation ainsi que des feux de circulation. En général, les cibles les plus faciles à apercevoir par la vision périphérique sont les objets les plus près du foyer, les objets qui diffèrent grandement de leur arrière-plan en ce qui a trait à la luminosité, à la couleur et à la texture, les gros objets ainsi que ceux en déplacement. Diverses études montrent que les conducteurs aperçoivent la majorité des cibles lorsqu'elles sont situées à moins de dix à quinze degrés du foyer, et ce, même lorsqu'elles sont bien en vue, rares et à des angles de plus de 30 degrés (Cole et Hughes, 1984; Smiley, Smahel et Eizenman, 2004).

De plus, la capacité d'un conducteur à apercevoir une cible en vision périphérique est directement liée aux exigences qui lui sont imposées. Plus les tâches sont exigeantes,

plus le « cône visuel de reconnaissance » ou le « champ de vision utile » est étroit, et plus il est improbable que le conducteur aperçoive les cibles en périphérie.

La figure 7 montre la vue et la capacité de reconnaissance d'information du conducteur à mesure que son champ de vision augmente à partir du foyer. Les cibles situées dans un angle de deux à quatre degrés du champ de vision central sont vues en haute résolution. Pendant la conduite, le conducteur est conscient de l'information en périphérie, à l'intérieur d'un champ de vision utile de 20 à 30 degrés. Le conducteur peut apercevoir une cible dans un champ de 180 degrés, mais n'en est pas conscient pendant qu'il conduit, à moins qu'il porte volontairement son attention sur ladite cible.

Figure 7 : Visibilité d'une cible en vision périphérique

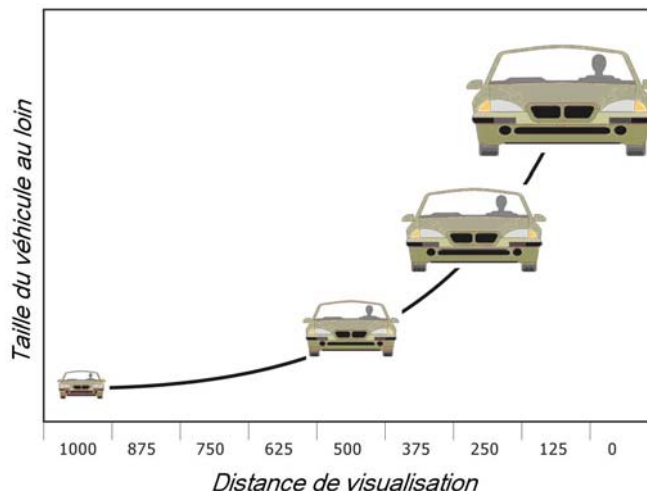


#### 4.3.2.4 Mouvement au loin

De nombreuses situations de conduite forcent les conducteurs à estimer les mouvements des autres véhicules à partir du taux de variation de l'angle visuel créé par le véhicule. Ces situations comprennent le fait de suivre un véhicule en maintenant une distance sécuritaire, de s'insérer de façon sécuritaire dans une voie d'accès avec panneau d'arrêt dans deux directions ainsi que de doubler un autre véhicule lorsque des véhicules arrivent en sens inverse et quand il n'y a aucune voie de dépassement.

Le principal indice qu'utilisent les conducteurs pour déterminer leur vitesse de rapprochement par rapport à un autre véhicule est le taux de variation de la taille dudit véhicule. La figure 8 illustre la variation relative de la taille d'un véhicule aperçu par un conducteur à différentes distances. Comme le montre cette figure, la relation entre la distance de visualisation et la taille de la cible n'est pas linéaire, ce qui explique probablement en partie pourquoi les conducteurs ont de la difficulté à estimer précisément la vitesse de rapprochement.

Figure 8 : Relation entre la distance de visualisation et la taille d'une cible au loin



Les conducteurs utilisent la variation observée dans la taille du véhicule au loin, mesurée à partir du taux de variation de l'angle visuel occupé par le véhicule, pour estimer la vitesse du véhicule. De plus, en raison du faible taux de variation par seconde de la taille d'un véhicule, il est difficile pour un conducteur d'évaluer les variations de vitesse d'un autre automobiliste au loin. Cette capacité d'évaluation est particulièrement importante lorsque les conducteurs effectuent un virage à gauche quand le feu de circulation est fixé au cercle vert à une intersection et que la vitesse permise est supérieure à 60 km/h. Pour effectuer le virage à temps, les conducteurs doivent commencer à tourner avant que le véhicule venant en sens inverse ne soit assez près pour qu'ils puissent déterminer si ce véhicule se déplace plus rapidement ou plus lentement que le courant de circulation.

La difficulté des conducteurs à évaluer la vitesse de rapprochement peut également augmenter les risques de collision par l'arrière lorsque les conducteurs se déplaçant à grande vitesse approchent de véhicules immobilisés ou en train de ralentir et évaluent mal la distance d'arrêt. Cette question de sécurité est d'autant plus importante lorsque des conducteurs ne s'attendent pas à cette situation, par exemple lorsqu'un conducteur s'apprêtant à effectuer un virage à gauche sur une route à deux voies doit s'immobiliser en attendant d'avoir suffisamment de temps pour tourner. Il se peut qu'un conducteur arrivant derrière lui n'ait pas le temps de réaliser que le véhicule est immobilisé. En pareil cas, l'utilisation de feux clignotants ou la visibilité des feux de freinage peuvent s'avérer cruciales pour déterminer que le véhicule est arrêté et sur le point de tourner.

#### 4.3.2.5 Recherche visuelle

Le fait de connaître les habitudes de recherche visuelle des conducteurs et de savoir ce qu'ils ont tendance à fixer dans diverses circonstances peut permettre d'installer des panneaux de signalisation aux meilleurs endroits possible et dans la taille la plus appropriée qui soit. Au volant de son véhicule, le conducteur a très peu de temps pour vérifier l'activité routière environnante qui change rapidement, il doit donc repérer et assimiler rapidement l'information. Un conducteur peut fixer un objet particulier pendant un dixième de seconde lorsqu'il effectue une tâche toute simple, comme quand il vérifie

la position de son véhicule dans la voie, et pendant un maximum de deux secondes lorsqu'il lit un panneau indicateur complexe. On peut donc installer des panneaux aux meilleurs endroits possible et dans la taille la plus appropriée qui soit lorsqu'on sait ce que les conducteurs ont tendance à fixer et qu'on connaît leurs habitudes de recherche visuelle (Rockwell, 1988).

Dans le cadre de diverses études où on utilisait des caméras spécialisées pour enregistrer les mouvements oculaires des conducteurs, on a constaté comment ces derniers partagent leur attention entre les différentes sous-tâches de conduite et déterminé pendant combien de temps les conducteurs peuvent fixer une cible au volant. Il s'est avéré que sur une route dégagée, les conducteurs fixaient un point donné devant eux dans un champ vertical et horizontal de quatre degrés pendant environ 90 % du temps (Mourant, Rockwell et Rackoff, 1969). De plus, les conducteurs fixaient un peu plus d'objets à la droite de la route, là où se trouvent les panneaux de signalisation. Cette situation indique que les conducteurs ont tendance à concentrer leur recherche visuelle sur une section précise de la route.

Les habitudes de recherche visuelle des conducteurs changent selon qu'ils négocient une courbe de tracé en plan ou circulent sur une tangente. Sur les tangentes, les conducteurs peuvent recueillir de l'information sur leur position latérale et sur la voie en regardant droit devant. Pendant la négociation d'une courbe, les besoins visuels sont essentiellement deux fois plus grands, étant donné que les conducteurs doivent tenir compte non seulement de leur position sur la voie, mais également des nouveaux éléments d'information à leur gauche ou à leur droite. Diverses études sur les mouvements oculaires montrent que les conducteurs modifient leurs habitudes de recherche plusieurs secondes avant de prendre une courbe. Ces constatations peuvent suggérer qu'il serait préférable de placer des panneaux indicateurs d'une courbe avant le début de la zone d'approche de façon à tenir compte des limites des conducteurs en matière de recherche visuelle (Shinar, McDowell et Rockwell, 1977).

D'autres usagers de la route, comme les piétons et les cyclistes, doivent aussi procéder à une recherche visuelle. Cette recherche est particulièrement importante aux intersections, points de conflit importants. On sait que les piétons effectuent une recherche visuelle quand ils regardent vers la direction d'où arrivent les véhicules avant de traverser l'intersection et dans les trois secondes après qu'ils se sont engagés. Une étude menée sur le comportement des piétons aux intersections à feux de circulation au centre-ville (examinée en détail plus loin) a montré qu'entre 8 % et 25 % des piétons ne vérifiaient pas la présence de danger aux alentours avant de traverser (Van Houten, Malenfant, Van Houten et Retting, 1997).

#### 4.3.3 Temps de perception-réaction

Le temps de perception-réaction est le délai dont a besoin une personne pour apercevoir une cible, traiter l'information, décider de sa réaction et réagir. Bien que des valeurs comme 1,5 ou 2,5 secondes soient couramment utilisées, il est important de prendre en compte que le temps de perception-réaction n'est pas toujours le même. En effet, il dépend des facteurs humains mentionnés dans les sections précédentes, y compris la capacité de traitement de l'information du conducteur, sa vivacité d'esprit, ses attentes et ses aptitudes visuelles.

Les différents éléments du temps de perception-réaction, à savoir la perception, la décision et la réaction, sont décrits dans les prochaines sections.

#### 4.3.3.1 Perception

La première étape de ce processus est la perception d'un objet, d'un danger ou d'un obstacle. À ce point, le conducteur ne sait pas encore si l'objet aperçu constitue véritablement une source de préoccupation et, dans l'affirmative, ce en quoi il consiste.

D'un côté, un conducteur peut prendre une fraction de seconde pour apercevoir un objet qu'il s'attend de voir ou un objet très visible situé dans la direction vers laquelle il regarde. De l'autre côté, le même conducteur peut avoir besoin de nombreuses secondes pour apercevoir, lorsqu'il fait nuit, un objet situé à plusieurs degrés à l'extérieur de sa ligne visuelle et ayant un faible contraste par rapport à l'arrière-plan. Le conducteur ne peut voir cet objet que lorsque le contraste dudit objet dépasse son seuil de sensibilité au contraste.

Les conducteurs sont plus susceptibles de ne pas apercevoir les objets qui :

- sont situés à plus de quelques degrés de leur ligne visuelle;
- contrastent peu avec l'arrière-plan;
- sont de petites dimensions;
- sont seulement visibles si éclairés;
- sont immobiles;
- ne sont pas attendus ni recherchés activement par les conducteurs.

Dès que le conducteur aperçoit un objet ou un obstacle, il doit en définir les détails afin de disposer de suffisamment de renseignements pour prendre une décision. Comme il sera indiqué dans la prochaine section, il faut plus de temps au conducteur pour reconnaître la nature d'un objet s'il ne s'attend pas à le voir ou s'il ne l'a jamais aperçu auparavant, par exemple une remorque garée dotée de réflecteurs inadéquats qui bloque une voie pendant la nuit.

#### 4.3.3.2 Décision

Une fois que le conducteur a aperçu un objet ou un obstacle et qu'il détient suffisamment d'information pour le reconnaître, il peut décider de sa réaction. Cette décision n'exige aucune action. Il s'agit plutôt d'un processus mental qui tient compte des éléments connus de la situation et détermine la réaction du conducteur.

Le temps de décision varie grandement selon les circonstances faisant en sorte qu'une décision est difficile à prendre ou qu'elle doit être prise sans délai. Beaucoup de décisions sont prises rapidement lorsque la réaction va de soi. Par exemple, un conducteur sait très rapidement comment réagir lorsqu'il se trouve à une distance considérable d'une intersection et que le feu de circulation passe au rouge. Par contre, un dilemme s'impose si le conducteur est près d'une intersection et que le feu de circulation passe au jaune : est-ce possible de freiner sans difficulté sans risquer d'être victime d'une collision par l'arrière, ou est-il préférable de continuer son chemin? Dans ce cas, il faudra plus de temps au conducteur pour prendre sa décision étant donné qu'il disposera de deux options raisonnables et de plus de renseignements à traiter.

Le processus de prise de décision est également plus long lorsque l'information dont a besoin le conducteur est plus difficile à trouver (p. ex. les panneaux de noms de rue parmi le fouillis visuel des enseignes commerciales) ou complexe (p. ex. les restrictions de virage imposées à différents types de véhicules). Il faut également plus de temps aux conducteurs pour prendre une décision lorsqu'ils doivent déterminer la nature de renseignements obscurs, comme des reflets sur la route la nuit. De tels reflets peuvent être causés par des débris ne présentant pas de danger et qui sont éparpillés sur la route ou un véhicule immobilisé.

#### 4.3.3.3 Réaction

Après avoir recueilli et traité l'information nécessaire et pris sa décision, le conducteur a besoin de temps pour réagir physiquement. La réaction du conducteur peut être très simple comme très complexe. Une réaction simple serait d'immobiliser le véhicule devant un feu rouge tandis qu'une réaction complexe pourrait consister à effectuer un virage à gauche tout en traversant plusieurs voies de grande circulation à vitesse élevée. Plus la réaction est complexe, plus il faudra de temps au conducteur pour la déclencher.

#### 4.3.3.4 Temps de perception-réaction dans diverses circonstances

Le temps de perception-réaction varie selon différents facteurs et les circonstances de chaque situation. Une étude menée sur les temps de perception-réaction dans diverses situations à « distance de visibilité d'arrêt » a permis de générer des lignes directrices sur les valeurs appropriées pour des situations de perception directe, dans lesquelles un danger est clairement visible au milieu de la route. Dans cette étude, des conducteurs se heurtaient, sans avertissement, à un obstacle qui bloquait une partie de la voie. La majorité des conducteurs (85 %) ont réagi en moins de 1,3 seconde, et 95 % en moins de 1,6 seconde (Olson, Cleveland, Fancher et Schneider, 1984). La mise en contexte de cette situation était assez simple : au grand jour, le conducteur apercevait un objet bloquant la route au moment même où il franchissait la crête d'une colline et, par conséquent, avait les yeux rivés sur la route. Dans le cadre d'une étude plus récente sur la réaction des conducteurs face à des objets imprévus apparaissant sur la route, on a conclu qu'un temps de perception-réaction d'environ 2,0 secondes semblait englober presque toutes les réponses des sujets dans l'ensemble des circonstances évaluées (Fambro, Fitzpatrick et Koppa, 1997).

Cependant, un temps de perception-réaction de 2,0 secondes est inapproprié pour les objets à faible contraste aperçus la nuit. Bien qu'un objet puisse se trouver dans sa ligne visuelle pendant des centaines de mètres, il se peut que le conducteur ne soit pas en mesure de l'apercevoir en raison du manque d'éclairage généré par les feux de croisement et du manque de contraste entre l'objet et l'arrière-plan. Le temps de perception-réaction ne peut être calculé qu'à partir du moment où l'objet est suffisamment visible pour être aperçu, ce qui varie selon les conducteurs et leur niveau d'anticipation. Une étude sur simulateur de conduite a permis de constater que les conducteurs qui s'attendaient à devoir réagir face à l'apparition de cibles humaines sur le bord de la route ont eu besoin d'en moyenne 1,4 seconde pour réagir à un piéton qui ressortait grandement contre l'arrière-plan et 2,8 secondes pour réagir à un piéton qui ressortait peu, ce qui illustre l'incidence importante des contrastes sur le temps de perception-réaction (Ranney, Masalonis et Simmons, 1996). Toute lumière éblouissante a également pour effet de prolonger davantage les temps de perception-réaction. Il est à noter que les sujets retenus pour ce type d'études sont anormalement vigilants et que l'on peut s'attendre à ce que le temps de réaction dans le monde réel soit plus long.

Les paragraphes précédents ont permis d'établir clairement que les temps de perception-réaction varient selon plusieurs facteurs, y compris la visibilité du danger, la complexité de la réponse exigée et l'urgence de la réaction. La valeur de 2,5 secondes qu'utilisent les spécialistes pour concevoir les autoroutes englobe la majorité des situations dans lesquelles des dangers clairement visibles sont présentés aux conducteurs.

#### 4.3.4 Choix de la vitesse

La vitesse à laquelle circule un conducteur est un élément central de la sécurité routière. Plus la vitesse est élevée, plus les risques de blessures et de décès à la suite d'accidents sont nombreux. Même si les limites de vitesse influent sur la vitesse à laquelle roule un conducteur, elles ne sont pas les seuls facteurs influant sur la vitesse, ni les plus importants d'ailleurs. Les conducteurs choisissent leur vitesse en fonction de certains indices de perception et « de la route ».

##### 4.3.4.1 Indices de perception

Le principal indice de la vitesse choisie par un conducteur est généré par la vision périphérique. À la suite de plusieurs essais, on a constaté que les conducteurs ont une faible capacité à estimer leur vitesse quand leur vision périphérique est bloquée (ceux-ci pouvaient seulement utiliser leur champ de vision central pour déterminer leur vitesse). Cette situation s'explique par le fait qu'au volant, l'activité au centre de la route change très lentement. Par contre, les conducteurs enregistrent de bien meilleurs résultats si on leur demande d'estimer leur vitesse à partir de leur vision périphérique, leur champ de vision central étant bloqué (Salvatore, 1968).

Le flux de l'information (ou le « flux optique ») en vision périphérique est l'un des facteurs influant le plus sur la capacité des conducteurs à évaluer leur vitesse. Par conséquent, si les conducteurs sont exposés de près à des stimuli périphériques, ils auront l'impression de rouler plus vite que s'ils se trouvent sur une route dégagée de tous les côtés. Dans le cadre d'une étude, on a demandé aux conducteurs de rouler à 96 km/h (60 mi/h) alors que l'indicateur de vitesse était couvert. Sur une route dégagée de tous les côtés, la vitesse moyenne enregistrée était de 91 km/h (57 mi/h) tandis qu'elle diminuait à 85 km/h (53 mi/h) le long d'une route bordée d'arbres (Shinar et collab., 1977). Les arbres à proximité de la route consistaient en des stimuli périphériques, donnant ainsi aux conducteurs une sensation de vitesse supérieure.

Le niveau de bruit est également un élément important en ce qui concerne le choix de la vitesse par un conducteur. Dans le cadre de plusieurs études, on a demandé aux conducteurs de porter des protecteurs d'oreilles afin d'établir dans quelle mesure l'élimination du bruit influe sur leur vitesse. Le niveau de bruit était également réduit d'autres façons. Il en est ressorti que lorsqu'on demandait aux conducteurs de rouler à une vitesse précise, ils sous-estimaient leur vitesse et roulaient de six à neuf kilomètres-heure plus rapidement que lorsqu'ils étaient exposés au niveau de bruit habituel (Evans, 1970b; Evans, 1970a). En ce qui a trait à la réduction des vitesses, il s'est avéré contre-productif de rendre les voitures de plus en plus insonorisées et la chaussée plus lisse. Ces facteurs diminuent la sensibilité des conducteurs à leur propre vitesse.

La capacité d'adaptation constitue un autre aspect du choix de la vitesse. Ce facteur entre en jeu lorsqu'on quitte une autoroute après y avoir roulé pendant une longue période, on éprouve alors de la difficulté à respecter la limite de vitesse imposée sur une

artère. Dans le cadre d'une étude, on a demandé à différentes personnes de rouler sur une distance de 32 km sur une autoroute puis de diminuer leur vitesse à 65 km/h sur une artère. La vitesse enregistrée sur ladite artère se chiffrait en moyenne à 80 km/h (Schmidt et Tiffin, 1969). Cette vitesse était supérieure à la vitesse permise malgré le fait que ces conducteurs étaient parfaitement conscients de l'effet d'adaptation, avaient affirmé aux chercheurs qu'ils savaient que cet effet se manifestait, et qu'ils avaient essayé de réduire leur vitesse. Les conducteurs ont ressenti l'effet d'adaptation jusqu'à cinq ou six minutes après avoir quitté l'autoroute, et même après de très courtes périodes de grande vitesse (Schmidt et Tiffin, 1969). On peut recourir à différentes techniques de gestion de l'accès aux voies, à des stratégies de disposition des panneaux de signalisation ainsi qu'à diverses mesures de modération de la circulation pour tenter de réduire les effets de l'adaptation de la vitesse.

#### 4.3.4.2 Indices de la route

Les conducteurs peuvent interpréter l'environnement routier globalement pour favoriser des vitesses rapides ou lentes selon les effets de la géométrie, du terrain ou d'autres éléments de la route. Les conducteurs ont tendance à rouler plus rapidement sur une route large et en ligne droite qui compte plusieurs voies, de grands accotements et une vaste zone de dégagement que sur une route étroite et sinueuse qui ne possède aucun accotement ou qui longe une falaise. Les vitesses enregistrées sur les tangentes des autoroutes de liaison sont directement liées aux coupes transversales et à d'autres variables, comme le rayon de la courbe avant et après la tangente, la distance de visibilité et le terrain en général (Polus, Fitzpatrick et Fambro, 2000).

La puissance des indices de la route et des répercussions de la difficulté des tâches sur la vitesse a également été démontrée dans un rapport canadien sur les méthodes de non-application des limites de vitesse. L'étude de recherche a été menée dans 30 sites différents, qui affichent tous une limite de vitesse de 50 km/h. Dix de ces sites étaient aux prises avec beaucoup de « frottement latéral » ou d'activité sur le bord de la route, comme des places de stationnement et de nombreux piétons et cyclistes. À ces sites, la vitesse du 85<sup>e</sup> percentile était de 50 km/h, soit la limite de vitesse indiquée. Les 20 autres sites étaient dégagés de tous les côtés. La vitesse du 85<sup>e</sup> percentile à ces sites s'élevait à 62 km/h. Étant donné que les limites de vitesse étaient les mêmes, l'écart de 12 km/h est considérable (Persaud, Parker, Knowles, Wilde et IBI Group, 1997).

Les vitesses indiquées sur les panneaux d'avertissement de courbes prononcées semblent avoir peu d'incidence sur la vitesse à laquelle les conducteurs négocient une courbe, probablement parce que les conducteurs considèrent que la route leur fournit suffisamment d'information et établissent leur vitesse en fonction de l'apparence de la courbe et de sa géométrie. Dans le cadre d'une étude, on a enregistré les vitesses de 40 conducteurs dans différentes courbes qu'ils n'avaient jamais négociées auparavant, certaines étant dotées d'un panneau indicateur de vitesse et d'autres non. Même si les mouvements oculaires des conducteurs ont été enregistrés et que ces derniers regardaient les panneaux d'avertissement, la présence d'un panneau indicateur de vitesse n'a eu aucune incidence sur la vitesse à laquelle roulaient les conducteurs (Zwahlen, 1987).

Cependant, les auteurs d'une étude menée sur 36 sections de tangentes de différentes artères ont constaté que les limites de vitesse, contrairement aux variables prises en compte dans la conception des routes, avaient une certaine influence sur le



comportement des conducteurs. Les sections étudiées affichaient des limites de vitesse entre 40 et 90 km/h (entre 25 et 55 mi/h). La variation de la vitesse des conducteurs était attribuable aux limites de vitesse dans une proportion de 53 %, mais plusieurs facteurs comme l'alignement, la coupe transversale, la présence d'un terre-plein central et les variables des routes n'ont eu aucune incidence statistiquement significative sur la vitesse des conducteurs (Fitzpatrick, Carlson, Wooldridge et Brewer, 2000).

#### 4.3.5 Vitesse de marche des piétons

On a établi dans le cadre d'une étude sur échantillon que la vitesse de marche moyenne des enfants (garçons et filles) est de 1,4 m/sec (à 5 ans), de 1,8 m/sec (à 12 ans), et des adultes (hommes et femmes) est de 1,6 m/sec (à partir de 40 ans) et de 1,3 m/sec (à partir de 60 ans). Ces résultats (Eubanks et Hill, 1998) ont été cités à la page 433 de l'étude de 2007 de Dewar et Olson. À la page 432 de cette étude menée en Suède, on constate que la vitesse de marche de 1,3 m/sec habituellement utilisée pour régler les voyants aux passages pour piétons est trop rapide pour les piétons âgés de 70 ans et plus (Dewar et Olson, 2007). La « vitesse confortable » pour le 15<sup>e</sup> percentile de ce groupe d'âge est de 0,67 m/sec.

#### 4.3.6 Orientation positive

La connaissance des limites humaines en matière de traitement de l'information et le besoin de l'être humain de se fier à ses expériences antérieures (c.-à-d. ses attentes de conduite) pour compenser ces limites en matière de traitement de l'information mènent à l'approche d'« orientation positive » de la conception des autoroutes. Cette approche repose sur une combinaison de facteurs humains et d'ingénierie de la circulation (Lunenfeld et Alexander, 1990). Son principe fondamental consiste à ce que toute route conçue en fonction des limitations et des attentes des conducteurs augmente la probabilité que ces derniers réagissent correctement et rapidement à diverses situations et à différents renseignements. Inversement, les conducteurs peuvent réagir lentement et commettre des erreurs lorsqu'ils n'ont pas accès rapidement à de l'information, lorsqu'ils reçoivent trop d'information ou se trouvent devant des situations inattendues.

En ce qui concerne la conception des routes, l'approche d'orientation positive insiste sur l'élément suivant :

- **Prévisibilité** : Permet d'élaborer les configurations et la géométrie des routes et de prévoir la circulation routière en fonction des attentes des conducteurs. Une route prévisible réduit les risques d'erreur pour les conducteurs (p. ex., il n'y aura aucune intersection avec panneaux d'arrêt au milieu d'une série d'intersections à feux de circulation).

En ce qui a trait aux dispositifs de signalisation, l'approche d'orientation positive insiste sur le fait d'aider le conducteur à traiter l'information avec exactitude et rapidité en tenant compte des éléments suivants :

- **Primauté** : Permet de déterminer l'emplacement des panneaux de signalisation en fonction de l'importance de l'information et d'éviter de présenter de l'information au conducteur quand et là où ce n'est pas nécessaire.
- **Étalement** : Permet de répartir les panneaux le long de la route quand tous les renseignements nécessaires à la conduite ne peuvent être indiqués sur un ou

plusieurs panneaux au même endroit, et permet ainsi de diminuer la charge d'information.

- **Codage** : Permet de regrouper les renseignements dans la mesure du possible. Les codes de couleur et de forme des panneaux de signalisation sont à la base de cette organisation qui permet de véhiculer un message à partir de la couleur de fond et de la forme du panneau (p. ex., les panneaux d'avertissement sont jaunes et les panneaux de réglementation sont blancs).
- **Redondance** : Permet de formuler le même message de différentes façons. Par exemple, en Amérique du Nord, la forme et l'inscription du panneau d'arrêt communiquent le même message, celui d'arrêter. Le fait de transmettre le même message au moyen de deux supports (p. ex., une « interdiction de dépasser » indiquée par un panneau et des marques sur la chaussée) constitue un autre exemple de redondance.

De plus, l'information doit être lisible à une distance permettant au conducteur de lire le panneau, de prendre une décision et de réagir à la situation (p. ex., changer de voie en vue d'effectuer un virage à gauche ou à droite à une intersection) avant d'atteindre le point de prise de décision.

#### **4.4 TYPES DE COLLISIONS AUX INTERSECTIONS : ERREURS ET MESURES PRÉVENTIVES**

La présente section porte sur les erreurs humaines à l'origine de divers types de collisions fréquentes aux intersections, à savoir les collisions par l'arrière, les frottements latéraux, les collisions pendant un virage, les collisions en angle ainsi que les collisions impliquant des usagers de la route vulnérables. Des mesures préventives contre ces types d'erreurs sont également proposées.

##### **4.4.1 Tâches des usagers de la route aux intersections**

Comme il a été mentionné précédemment, les conducteurs doivent exécuter simultanément des tâches de maintien du véhicule, d'orientation et de navigation. Aux intersections, chacune de ces tâches présente des difficultés :

- **Maintien du véhicule** : Les voies ne sont habituellement pas délimitées dans les intersections, même dans les virages.
- **Orientation** : De nombreux conflits peuvent survenir à des intersections avec des piétons, des cyclistes et d'autres automobilistes.
- **Navigation** : Les conducteurs changent habituellement de direction aux intersections et peuvent avoir de la difficulté à repérer et à lire les panneaux de noms de route à temps pour effectuer un changement de voie requis.

Pendant qu'ils négocient une intersection, tous les usagers de la route doivent effectuer les actions suivantes :

- Regarder l'intersection
- Repérer toute signalisation et les voies à emprunter

- Vérifier si des véhicules, des piétons ou des cyclistes croisent l'intersection
- Évaluer s'ils ont suffisamment d'espace pour traverser l'intersection ou y effectuer un virage
- Traverser l'intersection ou effectuer le virage sans difficulté

En plus de ces tâches, le conducteur doit rapidement décider s'il arrête ou continue sa route lorsqu'il se trouve dans la zone « critique » à une intersection à feux de circulation.

Par conséquent, les intersections sont très exigeantes pour les usagers de la route en matière de recherche visuelle, d'évaluation de l'espace disponible et de prise de décision, ce qui augmente les risques d'erreur. Les statistiques sur les accidents de la route montrent que même si les intersections ne représentent qu'une petite partie du réseau routier, environ 50 % de tous les accidents en milieu urbain et 25 % de tous les accidents en milieu rural surviennent aux intersections (Kuciamba et Cirillo, 1992). Dans le cadre d'une étude menée sur les facteurs humains à l'origine des accidents et des collisions, on a constaté que la majorité des accidents étaient causés par un usager de la route n'ayant pas regardé attentivement aux alentours et que 74 % de ces erreurs survenaient à des intersections. Dans environ la moitié de ces cas, les conducteurs n'ont pas regardé du tout aux alentours et dans les autres cas, les conducteurs « ont regardé mais n'ont rien vu » (Treat et collab., 1977; National Highway Traffic Safety Administration, 2003).

#### 4.4.2 Collisions par l'arrière et frottements latéraux

##### 4.4.2.1 Erreurs à l'origine de ce type de collision

Voici les erreurs pouvant mener à des collisions par l'arrière et à des frottements latéraux :

- Suppositions incorrectes quant aux intentions du conducteur devant soi
- Manque d'attention

Un conducteur qui en suit un autre suppose habituellement que ce dernier, s'il est en train d'avancer, poursuivra sa route jusqu'au panneau d'arrêt. Cependant, le conducteur en position de tête peut s'arrêter soudainement après avoir vu, à la dernière minute, un véhicule ou un piéton en direction opposée. De la même manière, un conducteur qui suit un autre véhicule peut supposer que ce dernier traversera une intersection sur un feu vert ou jaune, mais celui-ci décide d'arrêter par excès de prudence. Les décisions des conducteurs qui suivent un autre véhicule peuvent varier dans cette « zone critique ». Plus la vitesse est élevée, plus la zone critique est grande, plus il faut de temps au conducteur pour ralentir et s'arrêter et plus les risques de collision par l'arrière sont élevés. Le conducteur en position de tête peut également ralentir ou s'arrêter pour les raisons suivantes : un autre automobiliste devant lui ralentit pour emprunter un point d'accès juste avant une intersection, un véhicule s'impose soudainement dans une voie à la sortie d'un point d'accès, ou un piéton traverse une route à un feu rouge.

Les conducteurs qui suivent un autre véhicule peuvent se montrer inattentifs ou distraits (parce qu'ils songent à des problèmes personnels, portent leur attention sur des tâches n'étant aucunement liées à la conduite ou se laissent distraire par des situations sur le bord de la route près des feux de circulation). Par conséquent, ces conducteurs peuvent

commencer tardivement à chercher des panneaux de noms de rue ou des points de repère, ce qui les incite à changer de voie à la dernière minute pour accéder à une voie de virage. Il se peut aussi que les conducteurs qui suivent un autre véhicule ne soient pas en mesure d'apercevoir un véhicule immobilisé ou en train de ralentir plus loin devant.

#### 4.4.2.2 Mesures préventives

Voici les mesures préventives à adopter contre les collisions par l'arrière et les frottements latéraux :

- Optimiser la distance de sécurité pour que les conducteurs n'aient pas trop ou pas assez de temps pour prendre la décision d'arrêter ou de poursuivre leur route lorsqu'ils approchent de la bande d'arrêt.
- Éliminer les entrées dans la « zone d'influence » de l'intersection pour que les conducteurs ne soient pas surpris par la possibilité que le véhicule devant eux ralentisse soudainement tout juste avant ou après une intersection à feux.
- Délimiter clairement les voies avant les intersections pour que les conducteurs ne changent pas de voie à la dernière minute.
- Rendre les panneaux de noms de rue lisibles à une distance suffisante pour que les conducteurs aient le temps de changer de voie avant d'arriver à une intersection, s'il y a lieu.

#### 4.4.3 Collisions pendant un virage

##### 4.4.3.1 Erreurs à l'origine de ce type de collision

Pour les conducteurs, il est plus exigeant d'effectuer un virage que de rouler en ligne droite sur le plan de la recherche visuelle, du jugement de l'espace disponible entre les véhicules et du maintien du véhicule sur la voie. Un virage peut entraîner une collision à une intersection ou à un point d'accès en raison des éléments suivants :

- Limites de perception
- Obstruction du champ de vision
- Zone « critique »
- Recherche visuelle inappropriée

En raison de leurs limites à estimer la vitesse de rapprochement des autres véhicules, certains conducteurs peuvent effectuer un virage à gauche sans en avoir le temps. De plus, il se peut que les conducteurs qui effectuent un virage à gauche quand le feu est vert dans les deux directions ne réalisent pas qu'un véhicule arrive en sens inverse à grande vitesse.

Une obstruction visuelle peut empêcher un conducteur d'apercevoir clairement un véhicule circulant en sens inverse lorsqu'il effectue un virage à gauche à une intersection. Environ 40 % des collisions survenant à une intersection sont causées par une obstruction du champ de vision (Treat et collab., 1977). Les montants de pare-brise à l'intérieur du véhicule, les poteaux électriques, les enseignes commerciales et les

véhicules garés peuvent tous empêcher un conducteur de voir un piéton, un cycliste ou un motocycliste circulant en sens inverse au moment crucial où le conducteur peut regarder brièvement dans cette direction. Des obstructions du champ de vision surviennent également lorsque le décalage des voies réservées aux virages à gauche fait en sorte que les véhicules dans la voie de virage à gauche d'une direction obstruent la vue d'un conducteur engagé dans la voie de gauche de l'autre direction.

Lorsque la circulation est dense, les conducteurs désirant tourner à gauche quand le feu est vert dans les deux directions peuvent être contraints d'attendre le feu jaune avant de tourner, moment pendant lequel ils risquent d'entrer en collision avec les conducteurs en sens inverse ayant décidé de brûler le feu rouge. Plus la vitesse du conducteur venant en sens inverse est élevée, plus la zone « critique » est grande, plus il faut de temps pour ralentir et s'arrêter et plus le conducteur venant en sens inverse est susceptible de franchir l'intersection et d'entrer en collision avec un autre conducteur ayant amorcé son virage à gauche.

Les conducteurs qui tournent à droite peuvent concentrer leur recherche visuelle uniquement sur les véhicules à leur gauche et ne pas apercevoir un cycliste ou un piéton traversant la route à leur droite (Summala, Päsänen, Räsänen et Sievänen, 1996). Cette situation est particulièrement susceptible de se produire si les conducteurs ne s'immobilisent pas avant de tourner à droite au feu rouge, ce qui leur donne moins de temps pour regarder à leur gauche et à leur droite avant de poursuivre leur route.

#### **4.4.3.2 Mesures préventives**

Voici les mesures préventives à adopter pour prévenir les collisions pendant un virage :

- Accroître la sécurité aux virages à gauche à grande vitesse et aux grandes intersections transversales de façon à ce que les conducteurs n'aient plus besoin de déterminer s'ils disposent de suffisamment de temps pour tourner lorsque la vitesse des véhicules arrivant en sens inverse est difficile à évaluer ou lorsqu'il faut tenir compte de la vitesse et de la distance de plusieurs véhicules arrivant en sens inverse.
- Décaler de façon neutre ou positive les voies réservées aux virages à gauche de façon à améliorer la visibilité des véhicules s'apprêtant à traverser l'intersection.
- Garder une distance de visibilité adéquate (de l'ordre de dix secondes à une vitesse maximale réalisable) par rapport aux véhicules traversant les intersections.
- Mettre en place des carrefours giratoires qui élimine la nécessité d'évaluer le temps d'arrivée des véhicules arrivant en sens inverse à grande vitesse.

#### **4.4.4 Collisions en angle**

##### **4.4.4.1 Erreurs à l'origine de ce type de collision**

Voici les erreurs pouvant mener à des collisions en angle :

- Détection tardive d'une intersection (avec panneaux d'arrêt ou feux de circulation) à laquelle il est obligatoire de s'arrêter.
- Détection tardive d'un véhicule traversant une intersection sans respecter le panneau d'arrêt ou le feu de circulation.

- Recherche inadéquate de véhicules traversant une intersection ou d'espaces appropriés.

Il se peut qu'un conducteur n'aperçoive pas un feu de circulation ou un panneau d'arrêt en raison d'un manque d'attention ou d'une combinaison d'inattention et d'un nombre insuffisant d'indices lui permettant de prévoir un arrêt obligatoire. Par exemple, il se peut que la visibilité de la chaussée à une intersection ou des véhicules traversant une intersection soit faible, ou que des conducteurs aient bénéficié d'une priorité de passage pendant une certaine distance et que la prochaine intersection ne ressemble pas à une route principale exigeant un arrêt. Dans un secteur urbain où les feux de circulation sont rapprochés, les conducteurs peuvent surveiller par inadvertance le feu de circulation suivant celui devant lequel il se trouve. Les conducteurs s'approchant d'une intersection à grande vitesse peuvent être pris au dépourvu dans la zone critique et brûler un feu rouge.

#### 4.4.4.2 Mesures préventives

Voici les mesures préventives à adopter contre les collisions en angle :

- Garder une distance de visibilité adéquate (de l'ordre de dix secondes à une vitesse maximale réalisable) par rapport à la zone revêtue des intersections
- Installer de grands panneaux d'arrêt à feux clignotants près de la ligne visuelle du conducteur.
- Synchroniser les feux de circulation de façon à créer une « onde verte » et à limiter les arrêts des conducteurs.
- Mettre en place des carrefours giratoires qui, par leur géométrie, obligent les conducteurs à ralentir pour y entrer et, par conséquent, éliminent les mouvements à 90 degrés des véhicules, soit la position dans laquelle les occupants d'un véhicule sont les moins protégés dans un accident.

#### 4.4.5 Collisions impliquant des usagers de la route vulnérables

##### 4.4.5.1 Erreurs à l'origine de ce type de collision

Une des causes les plus fréquentes des collisions impliquant un piéton est la traversée inappropriée d'une voie ou d'une intersection. (NHTSA, 2003, p. 132). Les piétons qui se précipitent sur le terre-plein, traversent une intersection malgré l'interdiction de traverser ou tentent de traverser les autoroutes contreviennent tous au code de la route. Comme l'a indiqué Dewar, « les piétons se pensent souvent au-dessus de la loi, et les autorités appliquent habituellement peu les règlements à leur intention. Ils se rendent à destination par le chemin le plus court possible en traversant la chaussée illégalement et en évitant les viaducs et les passages inférieurs » (Dewar et Olson, 2002).

Les piétons peuvent également traverser une chaussée illégalement parce qu'ils n'ont pas regardé aux alentours adéquatement. Dans le cadre d'une étude menée en Floride, des chercheurs ont observé le comportement de recherche des piétons à des intersections à feux de circulation au centre-ville, certaines possédant des dispositifs de signalisation sonore et d'autres non (Van Houten et collab., 1997). Pour que les chercheurs établissent qu'un piéton avait vérifié la présence d'un danger particulier,

celui-ci devait avoir tourné la tête dans la direction d'où provenait le véhicule avant de traverser la voie et dans les trois secondes après avoir posé le pied sur la voie.

Les résultats ont permis de constater que dans des conditions normales, aux intersections sans dispositif de signalisation sonore, soit la majorité des intersections à feux, et selon la période d'observation, entre 8 % et 25 % des piétons ne vérifient pas s'il y a des risques aux alentours avant de traverser. Le niveau de recherche des piétons variait en fonction des trois types de danger, à savoir les véhicules derrière eux, devant eux et à leur gauche ou à leur droite. Les piétons portaient le moins attention aux véhicules derrière eux, qui exigent d'ailleurs le plus grand mouvement de la tête. En effet, 30 % des piétons en vérifiaient la présence. Une proportion plus importante de piétons, soit de 50 % à 60 % d'entre eux environ, portaient davantage attention aux véhicules devant eux et à leur gauche ou à leur droite.

On a également constaté que dans les collisions à un virage à droite, les piétons et les conducteurs sont tout aussi responsables de ne pas avoir effectué de recherche visuelle avant de poursuivre leur route. Pour ce qui est des collisions à un virage à gauche, les conducteurs sont plus souvent fautifs, probablement parce qu'il est plus exigeant sur le plan visuel de tourner à gauche que de tourner à droite (Habib, 1980).

Les piétons peuvent traverser illégalement une chaussée ou une intersection en raison des espaces insuffisants dans la circulation. Hamed a analysé le comportement des piétons aux passages pour piétons et examiné une vaste gamme de facteurs liés à la chaussée et aux usagers de la route (Hamed, 2001). Il a constaté que la période d'attente d'un piéton avant de pouvoir traverser la première moitié d'une rue séparée par un terre-plein est directement liée à la probabilité qu'il traverse la seconde moitié alors que ce n'est pas sécuritaire de le faire (c.à-d. lorsque l'intervalle du trafic est moindre que ce qui est normalement acceptable, ou sans respecter les règles).

Dans le cadre d'une étude sur le terrain, on a constaté que l'intervalle dont a besoin un piéton pour traverser varie en fonction de la largeur de la route et de la vitesse de marche du piéton (Fitzpatrick, Turner, Brewer et Carlson, 2006). Pour une vitesse de marche de 1,1 m/sec, l'intervalle du 85<sup>e</sup> percentile accepté varie de 8,5 secondes pour une distance de neuf mètres à 14,5 secondes pour une distance de quinze mètres. Pour une route à quatre voies, l'intervalle du 85<sup>e</sup> percentile accepté équivaut à dix secondes. Ces intervalles sont plus courts que ceux exigés en fonction des suppositions sur les temps de perception-réaction, la vitesse de marche et la marge de sécurité. De plus, ces intervalles reflètent vraisemblablement les suppositions des piétons selon lesquelles les conducteurs ralentiront, s'ils les voient à l'avance, pour leur permettre de traverser complètement la voie.

Les piétons qui traversent une voie de façon inappropriée peuvent facilement surprendre les conducteurs qui ne peuvent réagir à temps. Il faut environ de 1,0 à 1,6 seconde à un conducteur pour se rendre compte qu'un piéton très visible se tenant sur le bord de la route traverse soudainement une voie et commencer à freiner. À la noirceur, lorsque le niveau de visibilité est faible, les conducteurs auront peut-être besoin de beaucoup plus de temps pour apercevoir les piétons.

Le piéton qui traverse rapidement une route peut parcourir de trois à quatre mètres par seconde, soit l'équivalent d'une voie et demie avant qu'un conducteur n'ait le temps de freiner. À 50 km/h, le conducteur ayant un temps de perception-réaction de 1,0 à 1,6 seconde parcourt de 13 à 21 mètres. Si le conducteur freine d'urgence sur une

chaussée sèche, il peut s'attendre à une décélération de 0,6 à 0,75 g. À la vue d'un piéton, un conducteur a besoin de 25 mètres pour réagir et freiner à temps. Il est très probable qu'un piéton se fasse happer s'il traverse une route alors qu'un véhicule roulant à 50 km/h se trouve à moins de 25 mètres de lui et, en provoquant ainsi un arrêt d'urgence, qu'il cause une collision par l'arrière. Les distances d'arrêt nécessaires aux conducteurs sont considérables, surtout lorsqu'ils roulent à grande vitesse. De plus, les piétons peuvent surestimer la capacité des conducteurs à arrêter à temps.

Même lorsque les piétons ont priorité à un passage pour piétons, ils peuvent placer les conducteurs dans une situation impossible. Les conducteurs sont tenus par la loi de s'arrêter lorsqu'un feu de signalisation pour piétons est activé ou lorsqu'un piéton montre clairement son intention de traverser. Alors que certains conducteurs ne s'arrêtent pas même s'ils le peuvent, d'autres se trouvent parfois dans une situation où ils ne sont tout simplement pas en mesure de s'arrêter. Un conducteur doit tenir compte de beaucoup plus de facteurs à un passage pour piétons qu'à un feu de circulation. En effet, par la lumière jaune, les feux de circulation avertissent les conducteurs plusieurs secondes à l'avance de l'obligation de s'arrêter à la lumière rouge. Les conducteurs trop près de l'intersection au changement de lumière peuvent ainsi continuer leur route alors que ceux qui se trouvent plus loin disposent de suffisamment de temps pour ralentir tranquillement et éviter une collision par l'arrière. Il n'y a aucun délai d'avertissement aux passages pour piétons. Un piéton qui traverse une intersection sans laisser de distance de freinage raisonnable aux conducteurs peut causer un accident.

Les piétons courent des dangers en raison du temps de réaction requis par les conducteurs et de la force des collisions, même à basse vitesse. Le simple fait de diminuer légèrement sa vitesse peut avoir une incidence importante sur la violence d'une collision entre un véhicule et un piéton. Le risque de décès chez les piétons happés par une voiture roulant à 80 km/h est de 80 %, alors qu'il diminue à 45 % à une vitesse de 60 km/h et à 5 % à 30 km/h (Pasanen, 1992).

Les conducteurs ayant un faible niveau de perceptibilité, surtout le soir, sont beaucoup plus susceptibles de heurter un piéton ou un cycliste. Les vêtements souvent foncés des piétons et des cyclistes ressortent peu de l'arrière-plan. Bien que l'éclairage de rue aide les conducteurs à voir les piétons, le fait que certaines sections puissent être plus éclairées que d'autres empêche les conducteurs d'apercevoir clairement les piétons qui ne se trouvent pas directement sous les lampadaires.

#### 4.4.5.2 Mesures préventives

La Federal Highway Administration a mené une étude dans le cadre de laquelle elle aborde la question de l'évaluation de la sécurité aux intersections du point de vue des piétons et des cyclistes (Vanasse Hangen Brustlin, 2007). Le principal objectif de cette étude était d'élaborer des indices de sécurité permettant aux ingénieurs, aux planificateurs et aux autres spécialistes de donner la priorité aux passages pour piétons et aux aires d'approche des intersections pour assurer la sécurité des piétons et des cyclistes. Les modèles d'établissement des priorités ont été mis au point à partir des cotes de sécurité attribuées par les experts ainsi que les données recueillies sur le comportement des usagers de la route.

Voici la première liste de facteurs pouvant influencer sur la sécurité d'une intersection établie dans le cadre de cette étude :



- Signalisation (présence et types)
- Vitesse de la circulation
- Nombre de branches des intersections
- Sens unique ou à double sens
- Nombre de branches à l'intersection
- Largeur des intersections
- Passages pour piétons (présence et types)
- Terre-pleins centraux (présence et largeur)
- Signalisation piétonnière (présence et types)
- Affiches annonçant un passage pour piétons
- Rayon de la bordure de trottoir aux virages à droite
- Stationnement sur rue
- Possibilité de tourner à droite aux feux rouges
- Éclairage des rues
- Aménagement environnant

Un groupe d'ingénieurs, de planificateurs, de coordonnateurs de la circulation piétonnière, de défenseurs des droits des personnes aveugles, de défenseurs des droits des piétons, de spécialistes de la circulation piétonnière et de chercheurs ont enregistré sur bande vidéo et analysé les activités de déplacement à 68 sites représentatifs. Ils ont relevé le nombre de conflits et de manœuvres d'évitement (mesures objectives) et attribué une cote de sécurité (mesures subjectives) à chacun de ces emplacements. Chaque aire d'approche et intersection a été analysée séparément.

Le modèle proposé prend la forme suivante :

$$\text{Indice de sécurité des piétons aux intersections} = 2,372 - 1,867 \text{ FEUX} - 1,807 \text{ ARRÊT} \\ + 0,335 \text{ VOIES} + 0,018 \text{ VITESSE} + 0,006 (\text{DJMRUESPRINC} * \text{FEUX}) + 0,238 \\ \text{COMM}$$

Définitions :

FEUX – Passage avec feu de circulation (0 – non, 1 – oui)

ARRÊT – Passage avec panneau d'arrêt (0 – non, 1 – oui)

VOIES – Nombre de voies de transit

VITESSE – Vitesse à 85 % (milles à l'heure)

DJMRUESPRINC – Débit journalier moyen dans les rues principales (en milliers)

COMM – Vocation du territoire (0 – vocation non essentiellement commerciale, 1 - vocation essentiellement commerciale)

Plus l'indice de sécurité des piétons aux intersections (Pedestrian Intersection Safety Index, Ped ISI) est élevé, plus le niveau de sécurité est faible. Comme il a été constaté, la présence de feux de circulation ou de panneaux d'arrêt a une très grande incidence sur le niveau de sécurité aux intersections. Plus le nombre de voies, le débit de circulation et les vitesses sont élevés, plus le niveau de sécurité diminue.

Lorsque les principales destinations (centres commerciaux, arrêts d'autobus, écoles et universités) sont situées à une distance considérable des feux de circulation et des passages pour piétons, il est probable que les piétons traverseront à proximité de leur point de destination. L'une des façons de réduire les risques de collision entre véhicules et piétons est de mettre en place des passages pour piétons à proximité de ces points de destination ainsi que des arrêts d'autobus près de points de traverse sécuritaire (à savoir les feux de circulation, les passages pour piétons ou, du moins, les secteurs offrant une bonne distance de visibilité).

Les conducteurs ont de meilleures chances de voir un piéton s'il traverse la route à un passage bien indiqué. Plus le passage est visible, plus il est probable que le conducteur soit vigilant et cherche et aperçoive les piétons. L'entretien adéquat des marques et des inscriptions des passages pour piétons sur la chaussée permet d'en améliorer la perceptibilité. La présence de feux clignotants au-dessus ou sur le côté de la route s'avère particulièrement utile la nuit puisqu'ils ressortent clairement de l'arrière-plan. L'éclairage des passages pour piétons permet également d'augmenter la visibilité des piétons.

Il existe également des sites qui ne sont dotés d'aucun feu de signalisation ni d'aucune signalisation ou marque sur la chaussée pour arrêter la circulation. On a d'ailleurs mené une étude cas-témoin sur les intersections afin d'évaluer l'incidence des marques sur la chaussée en ce qui concerne la sécurité des piétons plus âgés. Les cas étudiés étaient des intersections où un piéton plus âgé (65 ans et plus) avait déjà été happé. Les points de surveillance étaient situés à proximité des passages concernés. Les marques sur la chaussée des passages pour piétons étaient associées à des risques plus élevés de collision entre véhicules et piétons plus âgés aux endroits où il n'y avait aucun feu de circulation ou panneau d'arrêt pour faire arrêter la circulation.

Les feux de signalisation pour piétons avec décompte numérique ont montré à ce jour des incidences contradictoires sur la sécurité. Dans le cadre d'une étude menée sur trois sites dotés de feux de signalisation pour piétons conventionnels et deux intersections d'essai dotées de feux de signalisation pour piétons avec décompte numérique, le taux de respect moyen de la signalisation était supérieur aux trois intersections conventionnelles (59 % contre 47 %) (Huang et Zegeer, 2000), cité dans l'étude de 2007 de Schattler, Wakim, Datta et McAvoy. Cependant, les auteurs d'une étude plus importante menée sur 13 intersections ont constaté que les piétons respectaient davantage les feux de signalisation pour piétons lorsqu'ils étaient dotés d'un système de décompte numérique (71 % contre 62 %) et qu'ils enfreignaient moins les règles relatives à ces feux de signalisation (15 % contre 24 %). De plus, aucune différence n'a été constatée dans la tendance des piétons à courir au feu jaune et au feu rouge des feux de signalisation avec décompte numérique (Schattler et collab., 2007).

Pour réduire la vitesse dans les secteurs à forte circulation piétonne, il faudrait appliquer les stratégies de conception des routes et installer des panneaux de limite de vitesse. La distance parcourue entre le temps de perception-réaction et le délai d'arrêt complet du

véhicule est deux fois plus grande à 70 km/h qu'à 40 km/h. La tendance de « rue complète » consiste à concevoir des routes sécuritaires pour tous les usagers (Laplante et McCann, 2008). Les piétons et les cyclistes ne peuvent pas se déplacer en sécurité dans des secteurs affichant des limites de vitesse considérablement supérieures à 50 km/h, raison pour laquelle les stratégies de réduction de la vitesse des conducteurs constituent un volet important de cette approche. Parmi ces stratégies, mentionnons le rétrécissement des voies, qui forcera les conducteurs à redoubler de prudence; les régimes routiers, qui consistent à transformer une route à quatre voies en route à trois voies et à réserver la dernière voie aux cyclistes ainsi qu'aux conducteurs désirant effectuer un virage; le resserrement des rayons en bordure des trottoirs, qui permettra de ralentir la vitesse des véhicules dans les virages; l'élimination des voies de virage à droite à circulation libre afin d'éviter les vitesses d'autoroute à l'entrée ou à la sortie des artères en milieu urbain; l'élévation des terre-pleins centraux, qui donnent l'impression d'une route étroite et constituent un refuge pour les piétons; et l'aménagement de terre-pleins centraux et de promenades pour rétrécir davantage la route et les places de stationnement en bordure des trottoirs ainsi que l'aménagement de saillies des trottoirs. Les auteurs ont fait remarquer que si on pouvait synchroniser les feux de circulation pour assurer une circulation continue dans les deux sens, il ne faudrait pas plus de temps aux conducteurs pour se rendre d'un point A à un point B à 50 km/h que s'ils roulaient à 70 km/h et devaient s'arrêter aux nombreux feux non synchronisés.

Les conducteurs ont plus de chances d'apercevoir des piétons en périphérie si leur champ de vision est libre. Il faudrait ainsi prendre des mesures pour veiller à ce que la visibilité des piétons ne soient pas obstruée par les véhicules garés, les boîtes à journaux, les enseignes commerciales, les jardinières ou les arbres à proximité des passages pour piétons, des feux de circulation ou des points de passage communs vers les arrêts d'autobus, les centres commerciaux, les écoles secondaires ou les universités.

On utilise également des dispositifs de signalisation sonore et visuelle novateurs pour favoriser une recherche plus active. Le fait qu'une voix indique aux piétons d'attendre le signal avant de traverser et de vérifier si des véhicules s'apprêtent à tourner a permis d'augmenter le niveau de recherche visuelle des piétons et de réduire les collisions entre véhicules et piétons (Van Houten et collab., 1997). L'ajout d'une animation de deux yeux qui regardent de gauche à droite à un feu de circulation pour piétons a permis d'augmenter le niveau de recherche visuelle des piétons adultes (Van Houten, Retting, Van Houten et Farmer, 1999). Bien que ces deux technologies soient prometteuses, il se peut que les piétons y deviennent moins réceptifs au fil des mois. Cette supposition n'a pas encore fait l'objet d'une étude.

Les mesures préventives contre un faible niveau de perceptivité comprennent l'éclairage des rues et la réduction des limites de vitesse dans les secteurs fréquentés par les piétons.

#### **4.5 Résumé**

Les usagers de la route n'ont pas une capacité d'attention et de traitement de l'information illimitée, et il en va de même pour leurs capacités visuelles et de perception-réaction. Le fait de connaître les différentes limites des usagers de la route et les tâches à accomplir par ces derniers aux intersections permet de déterminer les sources d'erreur dans la conception des intersections et de prévoir des mesures préventives pour tenter de les réduire.

#### 4.6 Liste des références indiquées dans la présente section de ce rapport

- ALLEN, M.J., R. D. HAZLETT, H. L. TACKER et collab. « Actual pedestrian visibility and the pedestrian's estimate of his own visibility », *American Journal of Optometry and Archives of the American Academy of Optometry*, n° 47, 1970, p. 44-49.
- COLE, B.L. et P. K. HUGHES. « A field trial of attention and search conspicuity », *Human Factors*, vol. 26, n° 3, 1984, p. 299-313.
- DEWAR, R.E. et P.L. OLSON. *Human Factors in Traffic Safety*, ISBN 0913 875473, Lawyers & Judges Publishing Company, Tucson, Arizona, 2002.
- DEWAR, R.E. et P.L. OLSON. *Human Factors in Traffic Safety (2<sup>e</sup> éd.)*, ISBN 1-933264-24-1, Lawyers & Judges Publishing Company, Tucson, Arizona, 2007.
- EUBANKS, J.J. et P.L. HILL. *Pedestrian Accident Reconstruction and Litigation*, Lawyers & Judges Publishing Company, Tucson, Arizona, 1998.
- EVANS, L. « Automobile speed estimation using movie-film simulation », *Ergonomics*, vol. 13, 1970a, p. 231-235.
- EVANS, L. « Speed estimation from a moving automobile », *Ergonomics*, vol. 13, 1970b, p. 219-230.
- FAMBRO, D.B., K. FITZPATRICK et R.J. KOPPA. *Determination of stopping sight distances*, Transportation Research Board, rapport du NCHRP, 1997, p. 400.
- FITZPATRICK, K., P.J. CARLSON, M.D. WOOLDRIDGE et collab. *Design factors that affect driver speed on suburban arterials*, n° rep FHWA, rapport n° FHWA/TX-001/1769-3, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 2000.
- FITZPATRICK, K., S. TURNER, M.A. BREWER et collab. *Improving pedestrian safety at unsignalized crossings*, rapport du National Cooperative Highway Research Program n° 562 et rapport du Transit Cooperative Research Program n° 112, Washington, D.C., 2006.
- HABIB, P. « Pedestrian Safety: The hazards of left-turning vehicles », *ITE Journal*, vol. 50, n° 4, 1980, p. 33-37.
- HAMED, M.M. « Analysis of pedestrians' behavior at pedestrian crossings ». *Safety Science*, vol. 38, n° 1, 2001, p. 63-82.
- HILLS, B.B. « Vision, visibility and perception in driving », *Perception*, vol. 9, 1980, p. 183-216.
- HUANG, H. et C.V. ZEGERER. *The effects of countdown pedestrian signals in Lake Buena Vista*. département des Transports de la Floride. 2000.
- KUCIEMBA, S.R. et J.A. CIRILLO. *Safety effectiveness of highway design features: Volume V - Intersections*, rapport n° FHWA-RD-91-048, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1992.
- LAPLANTE, J. et B. MCCANN. « Complete streets: We can get there from here », *ITE Journal*, vol. 78, n° 5, 2008, p. 24-28.

LUNENFELD, H. et G. ALEXANDER. *A user's guide to positive guidance (3<sup>e</sup> édition)*, FHWA SA-90-017, Washington, D.C., 1990.

MACE, D.J., P.M. GARVEY et R.F. HECKARD. *Relative visibility of increased legend size vs. brighter materials for traffic signs*, rapport n° FHWA-RD-94-035, département des Transports des États-Unis, 1994.

MCCORMICK, E.J. *Human Factors in Engineering*, 3<sup>e</sup> édition, McGraw Hill Book Company, New York, 1970.

MOURANT, R.R., T.H. ROCKWELL et N.J. RACKOFF. « Drivers' eye movements and visual workload », *Highway Research Record*, vol. 292, 1969, p. 1-10.

National Highway Traffic Safety Administration. *Fatality Analysis Reporting System (FARS)*, National Center for Statistics and Analysis, 2003.

OLDER, J.S. et B. SPICER. « Traffic conflicts - a development in accident research », *Human Factors*, vol. 18, n° 4, 1976.

OLSON, P.L., D.E. CLEVELAND, P.S. FANCHER et collab. *Parameters affecting stopping sight distance*, rapport n° UMTRI-84-15, University of Michigan Transportation Research Institute, projet n° 1508 du NCHRP, 1984.

OLSON, P.L. et M. SIVAK. *Improved low-beam photometrics*, rapport n° UMTRI-83-9, University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan, 1983.

PASANEN, E. *Driving speed and pedestrian safety: A mathematical model*, rapport n° 77, Helsinki University of Technology, 1992.

PERSAUD, B., M.R. PARKER, V. KNOWLES et collab. *Safety, speed and speed management: A Canadian review*, n° de dossier ASF 3261-280, Direction générale de la sécurité routière et de la réglementation automobile, Transports Canada, Ottawa, Ontario, Canada, 1997.

POLUS, A., K. FITZPATRICK et D.B. FAMBRO. « Predicting operating speeds on tangent sections of two-lane rural highways », *Transportation Research Record*, n° 1737, 2000, p. 50-57.

RANNEY, T., A.J. MASALONIS et L.A. SIMMONS. « Immediate and long-term effects of glare from following vehicles on target detection in driving simulator », *Transportation Research Record*, n° 1550, 1996, p. 16-22.

ROCKWELL, T.H. « Spare visual capacity in driving - revisited », *Vision in Vehicles II*, A.G. Gale et collab., Elsevier Science Publishers B.V. (North Holland), 1988.

SALVATORE, S. « The estimation of vehicle velocity as a function of visual stimulation », *Human Factors*, vol. 10, 1968, p. 27-32.

SCHATTNER, K.L., J.G. WAKIM, T.K. DATTA et collab. *Evaluation of pedestrians and driver behavior at countdown pedestrian signals in Peoria, Illinois*, présenté à la 86<sup>e</sup> réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington, D.C., 2007.

SCHMIDT, F. et J. TIFFIN. « Distortion of drivers' estimates of automobile speed as a function of speed adaptation », *Journal of Applied Psychology*, vol. 53, 1969, p. 536-539.

SHINAR, D., E. MCDOWELL et T.H. ROCKWELL. « Eye movements in curve negotiation », *Human Factors*, vol. 19, n° 1, 1977, p. 63-71.

SMILEY, A., T. SMAHEL et M. EIZENMAN. « Impact of video advertising on driver fixation patterns », *Transportation Research Record*, vol. 1899, 2004, p. 76-83.

SUMMALA, H., E. PÄSÄNEN, M. RÄSÄNEN et collab. « Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns », *Accident Analysis & Prevention*, vol. 28, n° 2, 1996, p. 147-153.

TREAT, J.R., N.S. TUMBAS, S.T. MCDONALD et collab. *Tri-level study of the causes of traffic accidents*. rapport n° DOT-HS-034-535-77-TAC, Institute for Research in Public Safety, Indiana University, Bloomington, Indiana, 1977.

VAN HOUTEN, R., J. MALENFANT, J. VAN HOUTEN et collab. « Using auditory pedestrian signals to reduce pedestrian and vehicle conflicts », *Transportation Research Record*, vol. 1578, 1997, p. 20-22.

VAN HOUTEN, R., R. RETTING, J. VAN HOUTEN et collab. « Use of animation in LED pedestrian signals to improve pedestrian safety », *ITE Journal*, vol. 69, 1999, p. 30-38.

Vanasse Hangen Brustlin Inc. *Pedestrian road safety audit guidelines and prompt lists*, vol. FHWA-SA-07-007, Federal Highway Administration, Vienna, Virginie, États-Unis, 2007.

ZWAHLEN, H.T. « Advisory speed signs and curve signs and their effect on driver eye scanning and driving performance » *Transportation Research Record*, vol. 1111, 1987, p. 110-120.

Figure 9 : Rue axée sur les piétons



## 5 DOCUMENTATION SUR LA SÉCURITÉ DES PIÉTONS

### 5.1 Contexte

Pour élaborer un programme d'évaluation de la sécurité des piétons, il faut non seulement bien comprendre les besoins des usagers de la route, mais également se servir de documents et de pratiques bien fondés et acceptés qui permettront d'établir un processus solide, viable sur le plan technique et conforme au devoir de diligence attendu d'un service de voirie publique.

Les phases de conception et de recherche technique de la présente étude ont été exécutées dans une suite logique d'étapes, notamment un examen détaillé et approfondi de la documentation et des projets de recherche en cours sur le sujet qui visait à fournir une bonne partie des travaux préparatoires techniques pour le projet en plus des rapports sur la sécurité des piétons et du Plan de la circulation piétonnière de la Ville d'Ottawa. À cet égard, les projets de recherche sur la sécurité des piétons menés récemment aux États-Unis comprennent : les travaux de la Federal Highway Administration (FHWA) sur le système PEDSAFE (guide de sécurité pour les piétons et système de sélection de mesures préventives); l'élaboration de modèles de prévision de la sécurité des piétons en vue de la publication prochaine du manuel *Highway Safety Manual*; les lignes directrices établies par l'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) pour la planification, la conception et l'exploitation des infrastructures piétonnières; l'élaboration de la série de rapports n° 500 du National Cooperative Highway Research Program intitulé *Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan. Volume 10: A Guide for Reducing Collisions Involving Pedestrians*; et la publication de nouveaux documents par l'Institute of Transportation Engineers (ITE). Les constatations de cet examen sont résumées à la section suivante.

### 5.2 Au sujet des données historiques relatives aux collisions impliquant des piétons

Pendant un processus opérationnel d'examen de la sécurité, les données historiques relatives aux collisions constituent toujours l'un des principaux indicateurs du niveau de sécurité d'un site. Cependant, la fréquence des collisions impliquant des piétons à un même endroit est habituellement faible. Selon la FHWA<sup>9</sup>, cette situation peut occasionner deux problèmes :

- On peut accorder une priorité anormalement élevée à un endroit ayant été le théâtre de seulement une ou deux collisions (alors qu'à d'autres endroits, il peut n'y avoir eu aucune collision).
- En raison du caractère aléatoire connu de la fréquence des collisions, il se peut qu'un endroit à risque élevé ne soit pas le théâtre de collisions impliquant des piétons pendant plusieurs années, et qu'on lui accorde une priorité anormalement basse.

<sup>9</sup> Federal Highway Administration, *Pedestrian and Bicyclist Intersection Safety Indices – Final Report*, n° de publication FHWA-HRT-06-125, novembre 2006.



Cela ne veut pas dire que les spécialistes devraient faire fi des données historiques relatives aux collisions survenues à un endroit en particulier, mais plutôt qu'ils devraient l'utiliser avec circonspection pour classer ces emplacements par ordre de priorité.

### 5.3 La relation entre la sécurité et les caractéristiques d'un emplacement

Zegeer et collab. (1985)<sup>10</sup> ont mené une étude sur les collisions entre véhicules et piétons aux intersections dotées d'une signalisation. En effectuant une analyse de régression statistique, ils ont constaté qu'il existait une corrélation positive entre les variables du débit piétonnier et du débit de circulation et la fréquence des collisions impliquant des piétons. Parmi les autres grandes variables, mentionnons les rues larges, le service de transport en commun, le débit de circulation dans les voies à sens unique par rapport aux voies à double sens ainsi que les débits plus élevés de véhicules effectuant des virages.

Dans le cadre d'une autre étude, Zegeer et collab. (2001)<sup>11</sup> ont examiné les relations entre les collisions impliquant des piétons et les caractéristiques des endroits où ces collisions se sont produites. Ils ont constaté une forte corrélation entre les débits piétonniers élevés, les débits de circulation élevés et les routes à plusieurs voies. Ils ont de plus comparé la situation entre les passages pour piétons indiqués sur la chaussée et ceux qui ne le sont pas. Il en est ressorti que les piétons courent le même niveau de risque, peu importe s'ils se trouvent aux abords d'une route à deux voies, d'une route à double sens ou d'une route à plusieurs voies sur laquelle circulent moins de 12 000 véhicules par jour. Cependant, les piétons courent davantage de risques lorsqu'ils sont aux abords d'une route à plusieurs voies sans terre-plein central surélevé, dotée d'un passage pour piétons marqué et dont le débit de circulation est supérieur à 12 000 véhicules par jour, ainsi qu'aux abords d'une route à plusieurs voies séparée par un terre-plein central, dotée d'un passage pour piétons marqué et dont le débit de circulation est supérieur à 15 000 véhicules par jour.

En 2003, King et collab.<sup>12</sup> ont évalué les améliorations apportées aux intersections d'une route suburbaine à quatre voies et leur incidence sur les risques de collision pour les piétons. Parmi ces améliorations, mentionnons la construction d'un terre-plein central surélevé, le rétrécissement de la route, le réglage des signaux, l'ajout de voies cyclables, le réaménagement des intersections et la construction de trottoirs. À partir de la corrélation bien connue entre la vitesse et les collisions, on a déterminé que l'exposition des piétons et les risques de collision pour les piétons ont diminué de 28 %. On a également constaté une diminution de la vitesse moyenne des conducteurs de 3 km/h.

### 5.4 Projets de recherche de la FHWA

La FHWA a mené un grand nombre de projets de recherche sur la sécurité des piétons au cours des dernières années. Les documents suivants se sont avérés pertinents pour la présente étude.

<sup>10</sup> C. V. Zegeer et collab. *Pedestrian Signalization Alternatives*, rapport de la Federal Highway Administration n° FHWA/RD-83/102, juillet 1985.

<sup>11</sup> C. V. Zegeer et collab. *Safety Effects of Marked versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations – Executive Summary and Recommended Guidelines*, rapport de la Federal Highway Administration n° FHWA-RD-01-075, avril 2001.

<sup>12</sup> M. R. King et collab. « Pedestrian Safety Through a Raised Median and Redesigned Intersections », *Transportation Research Record*, Transportation Research Board.

#### 5.4.1 Système expert PEDSAFE

La FHWA a commencé à étudier les mesures préventives en matière de sécurité des piétons en 2002 puis a rédigé un premier document intitulé *Pedestrian Facilities Users Guide: Providing Safety and Mobility*<sup>13</sup>. Zegeer et Harkey ont révisé ce document en 2004, ce qui a permis de créer le système expert PEDSAFE. Cet outil simplifie le processus de sélection des mesures préventives, partie intégrante de la phase de diagnostic du programme d'évaluation de la sécurité des piétons. Le système expert PEDSAFE contient 49 descriptions de mesure préventive en matière de sécurité des piétons et 71 études de cas qui proposent diverses méthodes d'application de l'outil. Les utilisateurs de cet outil doivent déterminer les principaux risques de sécurité (à partir d'une liste de huit types de risques) et types de collisions (à partir d'une liste de douze types de collisions) pouvant survenir à un endroit donné.

Les mesures préventives dans l'outil PEDSAFE, choisies à partir des projets de recherche antérieurs, ont permis d'améliorer la sécurité des piétons aux passages pour piétons.

#### 5.4.2 Indice de sécurité des piétons et des cyclistes aux intersections

Après avoir mis au point l'outil PEDSAFE, la FHWA a établi qu'il fallait élaborer un processus technique de détermination et de classement des endroits où il fallait améliorer le niveau de sécurité. Dans le cadre de l'étude subséquente, on a recueilli des données à 68 passages pour piétons à des intersections dans les principaux centres-villes en Pennsylvanie, en Californie et en Floride. Parmi les renseignements recueillis à chacun des passages pour piétons, mentionnons des données relatives aux collisions, les observations liées aux collisions entre véhicules et piétons, les observations liées aux manœuvres d'évitement entre les conducteurs et les piétons ainsi que les cotes de sécurité des intersections attribuées subjectivement par des spécialistes en la matière.

Une fois les données compilées, la FHWA a mené une analyse de régression statistique en vue de déterminer les caractéristiques des endroits qui affichaient la plus forte corrélation avec la sécurité des piétons. Les dernières variables utilisées dans l'équation de l'indice de sécurité comprenaient le type de signalisation aux intersections, le nombre de voies de transit, la vitesse des conducteurs, le débit de circulation et le type d'aménagement aux alentours. Les valeurs indices sont calculées après l'entrée des données relatives à l'ensemble des passages pour piétons. L'utilisateur peut ensuite classer les emplacements par ordre de priorité.

### 5.5 Recherche du NCHRP

#### 5.5.1 Volume 10 de la série de rapports n° 500 du NCHRP

La série de rapports n° 500 du NCHRP fournit aux spécialistes des lignes directrices au sujet de la mise en œuvre du *Strategic Highway Safety Plan* de l'AASHTO. Cette série de rapports vise à déterminer les stratégies d'établissement de mesures préventives potentielles en matière de sécurité, à les classer, à clarifier les délais de mise en œuvre et à établir les coûts d'application de ces stratégies. Le dixième volume de cette série de rapports fournit diverses directives sur la réduction des collisions impliquant des piétons.

<sup>13</sup> C. V. Zegeer et collab. *Pedestrian Facilities Users Guide: Providing Safety and Mobility*, rapport de la Federal Highway Administration n° FHWA-RD-01-102, mars 2002.

Les chercheurs ont déterminé quatre grandes stratégies pour contrer les risques de sécurité potentiels :

- Réduire l'exposition des piétons aux véhicules
- Augmenter la distance de visibilité et le niveau de visibilité entre les conducteurs et les piétons
- Diminuer la vitesse des véhicules
- Améliorer le comportement des piétons et des conducteurs et leur niveau de reconnaissance de l'information

Plusieurs mesures préventives en matière de sécurité ont été relevées dans le cadre de chaque stratégie. Chaque mesure préventive est accompagnée d'une description des incidences stratégiques, des besoins en matière de données, des questions liées aux mesures préventives potentielles et ainsi de suite.

#### 5.5.2 Méthode de prévision de la sécurité des piétons du NCHRP

Dans le cadre du processus de rédaction du manuel *Highway Safety Manual*, le NCHRP a entrepris une étude visant à élaborer un algorithme de prévision des collisions impliquant des piétons dont les constatations sont fournies dans le projet 17-26<sup>14</sup> du NCHRP. Cette étude vise à quantifier non seulement les incidences des caractéristiques des emplacements sur la sécurité des piétons, mais également les améliorations proposées pour les artères urbaines et suburbaines. Cette étude ne portait pas sur les intersections où il n'y avait pas de signalisation.

Le NCHRP a mené une analyse de régression statistique pour déterminer, en premier lieu, les coefficients de régression et les facteurs de surdispersion pour chaque variable étudiée et, en second lieu, les facteurs de modification des niveaux de collision relatifs aux arrêts d'autobus, à la présence d'écoles et de parcs, au nombre de points de vente d'alcool et au revenu par habitant du quartier.

Malgré sa validité, cette analyse s'est avérée inappropriée pour notre étude, surtout en raison du fait qu'on n'avait pas tenu compte des intersections où il n'y avait pas de signalisation.

## 5.6 Résumé des constatations

Voici les constatations qui se sont dégagées du processus d'examen de la documentation existante :

- Il existe une forte relation bien documentée entre les risques de sécurité pour les piétons et les caractéristiques propres aux sites, comme la largeur d'une intersection, le débit piétonnier ou le débit de la circulation.

---

<sup>14</sup> D. Harwood et collab. *Pedestrian Safety Prediction Methodology*, National Cooperative Highway Research Program, projet 17-26 : phase III, mars 2008.

- Il a été établi que les processus d'établissement de priorités<sup>15</sup> et de sélection des mesures préventives potentielles<sup>16</sup> de la FHWA peuvent être utilisés dans le contexte de la Ville d'Ottawa. L'outil d'établissement de priorités (Ped ISI) a été conçu à partir de l'analyse statistique des données recueillies aux passages pour piétons évalués. De plus, non seulement les outils Ped ISI et PEDSAFE utilisent tous deux les données propres aux emplacements facilement accessibles, mais il n'est également pas nécessaire d'investir beaucoup d'énergie et de ressources pour exécuter leurs analyses. En outre, la simplicité des outils contribue à leur convivialité et à notre capacité de mettre au point des versions personnalisées dans une feuille de calcul électronique propre à la Ville d'Ottawa.
- Il semble que les données historiques relatives aux collisions impliquant des piétons ne conviennent pas au processus d'établissement de priorités. Toutefois, il serait prudent de doter les outils d'établissement de priorités d'une certaine marge de manœuvre pour avoir accès aux données historiques relatives aux collisions, au besoin.
- Bien que certains problèmes soient liés à l'utilisation des données historiques relatives aux collisions impliquant des piétons, dus notamment à la petite taille des échantillons étudiés, ces données constituent tout de même une ressource utile pendant la phase de diagnostic d'un programme d'évaluation de la sécurité des piétons puisque les tendances établies à partir des données permettent d'établir les principaux risques de sécurité à un emplacement en particulier.

---

<sup>15</sup> Federal Highway Administration, *Pedestrian and Bicyclist Intersection Safety Indices – User Guide*, n° de publication FHWA-HRT-06-130, avril 2007.

<sup>16</sup> Federal Highway Administration, *PEDSAFE: Pedestrian Safety Guide and Countermeasure Selection System*, n° de publication FHWA-SA-04-003, septembre 2004.

## 6 ÉLABORATION DES OUTILS D'ANALYSE

### 6.1 Contexte

Un nombre important d'études ont été menées dans le domaine de l'établissement de priorités et des mesures préventives en matière de sécurité. Ces deux domaines sont l'assise du processus d'évaluation de la sécurité. C'est pourquoi il serait avantageux pour la Ville d'Ottawa de concevoir des outils conviviaux dans ces domaines dans le cadre d'un programme général d'évaluation de la sécurité.

### 6.2 Outil d'établissement de priorités

#### 6.2.1 Introduction

Notre étude documentaire a permis d'établir que la FHWA a élaboré un processus d'analyse solide et viable sur le plan technique pour établir la priorité des passages pour piétons qui, selon nous, convient à la situation de la Ville d'Ottawa. Par conséquent, nous nous sommes inspirés des éléments d'analyse de leur outil et avons conçu un outil personnalisé basé sur des feuilles de calcul électroniques qui pourrait être utilisé par le personnel de la Ville et que nous avons appelé le Ped ISI de la Ville d'Ottawa.

L'outil de calcul de l'indice de sécurité des piétons aux intersections (Ped ISI) de la Ville d'Ottawa produit une valeur indice de sécurité pour chaque passage pour piétons à une intersection, puis un indice général de sécurité pour l'intersection selon la valeur moyenne de tous les passages pour piétons. Une fois les valeurs Ped ISI calculées, il est possible de les classer (en fonction des valeurs Ped ISI à l'intersection, des communautés ou de ces deux facteurs) pour fournir aux spécialistes une liste des intersections où la mise en place de mesures d'amélioration de la sécurité des piétons est prioritaire.

#### 6.2.2 L'algorithme

Le fondement technique de l'outil Ped ISI repose sur la relation bien définie et clairement établie entre la sécurité des piétons et les caractéristiques générales des emplacements. Toutes les caractéristiques ont été traitées dans le cadre d'une analyse statistique rigoureuse qui a finalement permis de déterminer les caractéristiques les plus importantes à considérer dans l'algorithme final. La recherche de la FHWA révèle que les caractéristiques des emplacements les plus étroitement associées à la sécurité des piétons sont notamment :

- la présence de feux de signalisation et de panneaux d'arrêt à l'intersection;
- le nombre de voies de transit (indicateur de la largeur de la chaussée);
- la vitesse de circulation des véhicules;
- le débit de circulation (indicateur du degré d'exposition à un risque);
- le type de vocation du territoire (indicateur du débit piétonnier).

L'algorithme est présenté à la figure 10.

Figure 10 : Algorithme d'établissement de priorités

$$PedISI = 2,372 - 1,867 * Signal. - 1,807 * Arrêt + 0,335 * Voies + 0,018 * Vitesse + 0,006 (Débit * Signal.) + 0,238 * vocationterr$$

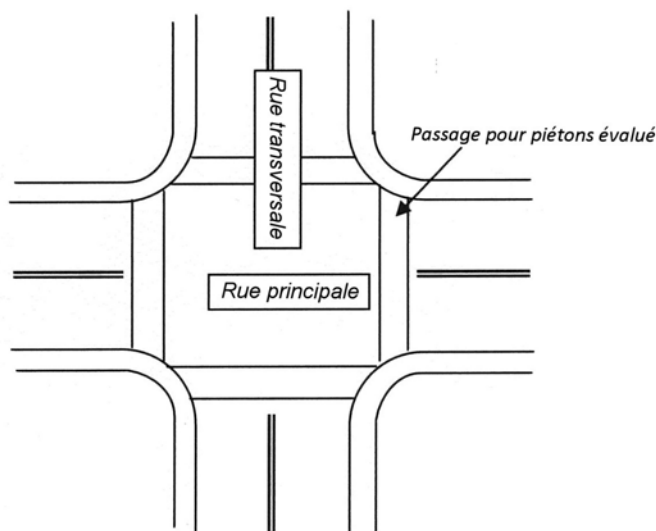
(La vitesse est calculée en milles à l'heure, le débit en milliers de véhicules par jour)

### 6.2.3 Besoins en matière de données

L'un des plus grands avantages de l'outil Ped ISI est qu'il nécessite une quantité limitée de données facilement accessibles. Si certaines données ne sont pas disponibles, elles peuvent être recueillies facilement par une personne pendant une brève visite sur le terrain.

Les utilisateurs de l'outil Ped ISI de la Ville d'Ottawa devront recueillir des données sur les caractéristiques géométriques et fonctionnelles de chaque passage pour piétons à une intersection donnée. Ils peuvent obtenir ces données en consultant les bases de données antérieures, le Système d'information géographique (SIG) ou des cartes numériques ou en effectuant de brèves visites sur le terrain. Les données relatives à la route (comme la vitesse des véhicules, le nombre de voies, etc.) portent sur la route traversée par le passage pour piéton évalué. Cette route est illustrée à la figure 11 et porte le nom de « rue principale ».

Figure 11 : Emplacement d'un passage pour piétons évalué



### 6.2.4 Limites de l'outil

Comme dans tout procédé technique, le modèle présente certaines limites. Pendant l'élaboration de son outil Ped ISI, la FHWA a incorporé, dans son ensemble de données, des intersections urbaines et suburbaines qui répondent aux critères suivants :

- des intersections à trois et à quatre branches;

- des intersections dotées de panneaux d'arrêt dans deux directions et dans toutes directions;
- des débits de circulation variant entre 600 et 50 000 véhicules par jour;
- des rues à sens unique ou à double sens;
- branches d'accès d'une à quatre voies;
- limites de vitesse affichées de 24,1 à 72,4 km/h.

En soi, le Ped ISI de la Ville d'Ottawa est particulièrement pertinent aux intersections qui correspondent aux critères énoncés ci-dessus. Les valeurs d'indice de sécurité des intersections qui ne correspondent pas à ces caractéristiques devraient donc être utilisées en se rappelant que les modèles n'ont pas été créés pour ce genre d'intersections.

#### 6.2.5 Incorporer l'historique des collisions

L'une des données d'entrée de l'outil d'établissement de priorités Ped ISI consiste en des données historiques recueillies sur cinq ans en matière de collisions survenues à chaque emplacement. Ces données ne sont pas prises en compte dans le procédé mathématique d'établissement de priorités et de hiérarchisation. Toutefois, le spécialiste peut s'en servir pour cerner les emplacements qui présentent un intérêt. Nous recommandons à la Ville d'Ottawa d'adopter une politique prévoyant la tenue d'une enquête préliminaire pour chaque intersection où survient une collision mortelle afin de déterminer si l'intersection en question doit faire l'objet d'une évaluation dans le processus d'établissement de priorités – ce qui, le cas échéant, enclencherait une étude technique approfondie. L'objectif d'une telle politique est de donner une plus grande marge de manœuvre au spécialiste lorsqu'il y a désaccord entre le public, les médias et les politiciens.

### 6.3 Outil de sélection de mesures préventives

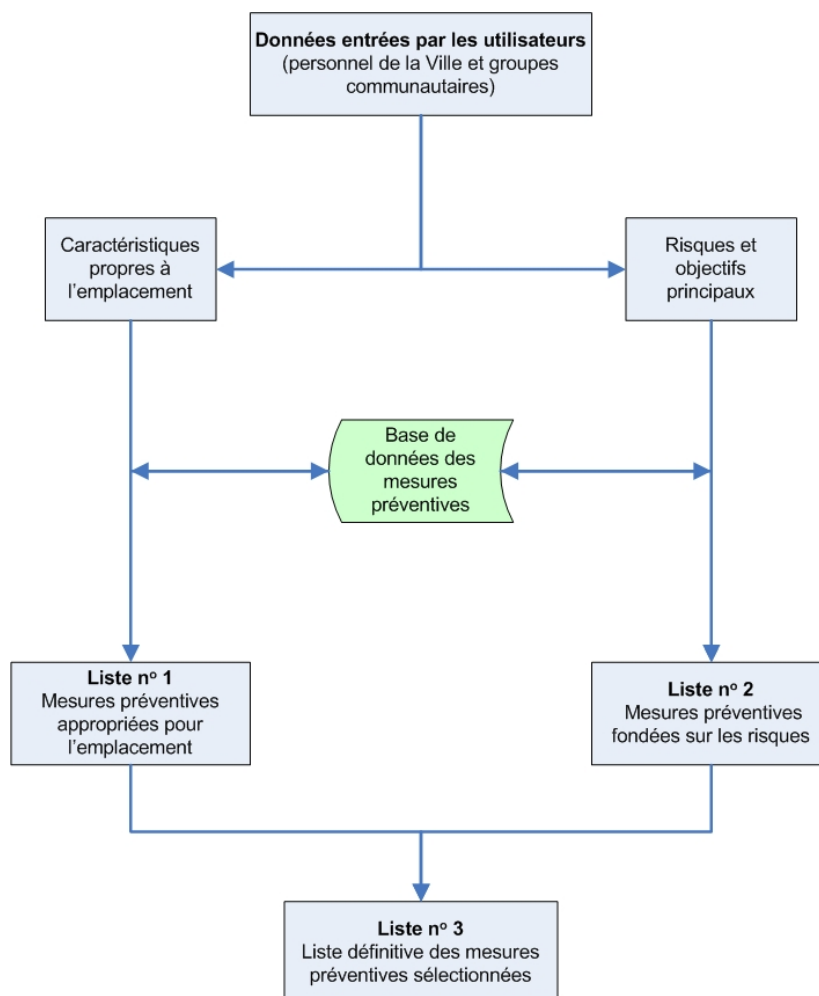
#### 6.3.1 Introduction

Après qu'un expert a procédé à une étude technique détaillée, examiné les renseignements fournis par les comités de quartier (fondés sur l'évaluation des besoins des piétons et des conducteurs) et diagnostiqué les problèmes, il faut dresser une liste de mesures préventives pour la sécurité pour les piétons. Selon l'étude documentaire décrite à la section 5, nous avons déterminé que PEDSAFE, l'outil de sélection de mesures préventives de la FHWA, est viable sur le plan technique, utilise des données faciles à obtenir et est convivial. Nous avons donc emprunté à ce système expert certains éléments et y avons ajouté de nouvelles mesures préventives et développé une version personnalisée basée sur des feuilles de calcul électroniques que peut utiliser le personnel de la Ville – outil que nous avons appelé PEDSAFE de la Ville d'Ottawa. Cet outil offre plus de 60 mesures préventives axées sur la sécurité des piétons.

#### 6.3.2 Étapes principales

Le processus de sélection de mesures préventives est illustré à la figure 12 (page suivante).

Figure 12 : Processus de sélection de mesures préventives



Les utilisateurs de l'outil de sélection de mesures préventives doivent recueillir deux types de données : les caractéristiques de l'emplacement et les risques associés à l'emplacement que l'on veut éliminer. La majeure partie des données à entrer dans l'outil auront probablement été recueillies dans le cadre de l'étude technique détaillée et de l'évaluation des besoins des piétons et des conducteurs. Vous trouverez à la section 5.3.3 une liste des exigences particulières en matière de données.

Une fois que les données sont entrées par les utilisateurs, l'outil explore la base de données, qui comprend plus de 60 de mesures préventives, et génère deux listes – une comportant des mesures préventives correspondant aux caractéristiques de l'emplacement (liste 1), et une autre comprenant des mesures préventives appropriées pour les risques relatifs à la sécurité (liste 2). L'outil génère ensuite une troisième et dernière liste des mesures préventives potentielles qui répondent à la fois aux caractéristiques de l'emplacement et aux risques en matière de sécurité qui y sont associés.



### 6.3.3 Besoins en matière de données

Les utilisateurs de l'outil de sélection de mesures préventives doivent recueillir deux types de données : les caractéristiques de l'emplacement (par exemple, un débit de circulation faible ou élevé) et les risques associés à l'emplacement que l'on veut prévenir (par exemple, la nécessité de réduire la vitesse des véhicules). Les dix facteurs associés aux caractéristiques de l'emplacement dont l'utilisateur doit tenir compte sont :

- le type de signalisation;
- le débit piétonnier;
- le débit de circulation;
- la vitesse de circulation;
- le nombre de voies;
- le droit de stationnement sur rue;
- la présence d'éclairage;
- le type de vocation du territoire;
- l'activité piétonnière prédominante;
- la présence d'une école.

Le deuxième ensemble de données résultera de l'étude technique détaillée et de l'évaluation des besoins des conducteurs. Il s'agit d'une liste des principaux risques en matière de sécurité. Nous avons établi des catégories pour ces risques et les avons incorporées à l'outil Ped ISI. L'utilisateur pourra choisir parmi les sept options suivantes :

- réduire la vitesse de circulation des véhicules;
- améliorer le champ de vision et la visibilité;
- réduire le débit de circulation;
- réduire les risques auxquels sont exposés les piétons;
- améliorer l'accès et la mobilité des piétons;
- rendre les piétons et les conducteurs plus respectueux des droit de passage;
- réduire les comportements à risque élevé

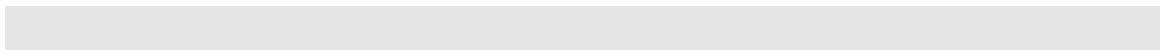
### 6.3.4 Résultats et conclusions

L'outil PEDSAFE de la Ville d'Ottawa a été programmé de manière à ne générer que des mesures préventives axées sur la sécurité des piétons qui répondent à la fois aux

critères relatifs aux caractéristiques des emplacements et aux risques associés à ces derniers.

#### 6.3.5 Limites

Comme pour tout système expert, les indications fournies à l'utilisateur sont limitées, et il incombe au spécialiste d'évaluer chaque mesure préventive potentielle pour déterminer si elle convient à l'emplacement et peut y être appliquée. Il est fortement conseillé aux utilisateurs de l'outil de consulter les sections sur les mesures préventives contenues dans le guide des mesures préventives, puisqu'elles fournissent de précieuses indications et des éléments dont il faut tenir compte pendant les étapes de planification et d'élaboration de la mise en œuvre.



## 7 RÉFLEXION FINALE

La présente étude vise à améliorer la capacité de la Ville à trouver des solutions aux problèmes liés à la sécurité des piétons sur les routes. Les statistiques montrent qu'un nombre croissant de personnes choisissent la marche pour se rendre à destination dans les secteurs urbains de la ville. Si elle veut établir adéquatement les priorités de manière à améliorer les infrastructures pour les adapter à ce mode de déplacement de plus en plus populaire, la Ville doit déterminer un processus et une méthode qui lui permettront d'atténuer les risques liés à la sécurité des piétons sur les routes.

On nous a donc demandé de concevoir ce processus, qui exigeait deux volets. Le premier consistait à mettre en place un processus général de planification permettant la consultation et la participation dynamiques des différents comités de quartier. Ce processus continu se déroulera chaque année; il s'étendra sur une période de dix à douze mois et comprendra quatre consultations publiques auprès d'un comité de quartier donné. Chaque programme subséquent sera établi en fonction du travail accompli l'année précédente. Les intersections sélectionnées pour lesquelles des mesures auront été prises seront biffées de la liste, de nouvelles intersections seront ajoutées, et un nouvel ensemble de priorités sera établi pour chaque exercice. À cet égard, le programme des travaux sera semblable aux programmes des projets d'immobilisations quinquennaux de la Ville. Cette dernière fournira une enveloppe pour les activités prévues au cours des cinq prochaines années qu'elle modifiera chaque année en fonction des changements, des besoins et de sa capacité financière.

Le deuxième volet du processus vise l'élaboration d'outils d'analyse viables sur le plan technique, abordables et conviviaux qui pourront être utilisés par le personnel de la Ville et, pour certains aspects, par les participants de la communauté dans le programme collaboratif pendant les étapes clés du processus général de planification.

Pour terminer, il est important de souligner les points suivants :

- Le processus d'établissement de priorités et de hiérarchisation et le processus de sélection de mesures préventives potentielles sont tous deux fondés sur des études approfondies menées par la FHWA. Ces études ont permis d'établir les liens techniques qui existent entre les caractéristiques de conception des intersections urbaines et leurs incidences sur les risques pour la sécurité des piétons qui y sont associés.
- Les outils sont conviviaux et utilisent des données accessibles et déjà recueillies régulièrement.

