

*-Rapport d'étape final-*

RÉVISION DES NORMES DE DISTANCES DE  
VISIBILITÉ APPLIQUÉES AU MARQUAGE

*préparé pour*

**Ministère des Transports**

35, rue Port-Royal Est  
Montréal (Québec)  
H3L 3T1

*À l'attention de Monsieur Jacques Thibeault*

*par*

Professeur Karsten Baass  
Département des génies civil, géologique et des mines

*soumis par*

CENTRE DE DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE (C.D.T.)  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL  
Campus de l'Université de Montréal  
Case Postale 6079, succursale Centre-ville  
Montréal (Québec)  
H3C 3A7

Septembre 1999

---

Professeur Karsten Baass  
Directeur de projet



<b>Titre et sous-titre du rapport</b> Révision des normes de distances de visibilité appliquées au marquage				<b>Numéro du rapport</b>			
				<b>Rapport d'étape final</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>Jour</b> 1	<b>Mois</b> 09	<b>Année</b> 99
<b>Auteurs du rapport</b> Karsten BAASS, ing. Ph.D.				<b>Date du début d'étude</b> 2 4   0 9   9 8		<b>Date de fin d'étude</b> 3 0   0 4   0 0	
<b>Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme)</b> École Polytechnique Département des Génies Civil, Géologique et des Mines C.P.6079, succ. Centre-Ville, Montréal (Qué) H3C 3A7 Tél.: (514) 340-4711 poste 4621 Téléc.: (514) 340-5841 e-mail: kbaass@mail.polymtl.ca				<b>Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme)</b> Ministère des Transports du Québec			
<b>Membres du comité de suivi</b> Jacques Thibeault (chargé de projet) Tél.: (514) 873-6250 Daniel Hamel, Yvan Barrette, Gervais Corbin, Yves Lamontagne, Bernard Martineau, Michel Masse							
<b>But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires</b> La norme actuelle sur la distance de visibilité de dépassement est basée sur un modèle empirique qui ne permet pas d'évaluer l'influence qu'ont les différentes variables impliquées dans la manœuvre sur la distance de visibilité. De plus, on n'utilise pas les mêmes modèles pour la conception routière et pour le marquage des routes. Le but de l'étude est de développer un modèle cinématique unique servant aussi bien à la conception routière qu'au marquage des routes et à partir de ce modèle de déterminer des distances de visibilité de dépassement pour le dépassement de différents types de véhicules. Certains problèmes reliés au marquage des routes devraient pouvoir être résolus également à l'aide de ce nouveau modèle.							
<b>Résumé du rapport</b> Le présent rapport constitue le rapport d'étape qui décrit les hypothèses à la base d'une modélisation fidèle de la manœuvre de dépassement. Le modèle simule un dépassement avec attente, où le conducteur accélère jusqu'à une vitesse donnée au début du dépassement et finit à vitesse constante. À partir de ces hypothèses, un modèle cinématique utilisant les équations de mouvement de la physique mécanique est développé, permettant d'évaluer l'influence que chacune des variables peut avoir sur la distance de visibilité. Le modèle a été appliqué à différentes situations en utilisant un ensemble représentatif de valeurs des variables. Trois distances de visibilité sont présentées. Premièrement, la distance totale permettant de compléter en sécurité le dépassement déjà commencé, deuxièmement, la distance de visibilité minimale qui garantit au conducteur à tout moment une distance suffisante pour abandonner ou pour compléter le dépassement, selon ce qui est plus court, et finalement une distance de compromis basée sur l'approche de l'AASHTO. À l'aide de ce même modèle on a déterminé des distances de visibilité pour le marquage ainsi que les longueurs minimales des zones de dépassement permis et les longueurs des zones de marquage avancé. L'influence des véhicules longs sur la distance de visibilité est également étudiée dans ce rapport.							
<b>Abstract</b>							
<b>Nombre de pages</b> 117	<b>Nombre de photos</b>	<b>Nombre de figures</b> 39	<b>Nombre de tableaux</b> 33	<b>Nombre de références bibliographiques</b> 58	<b>Langue du document</b> <input checked="" type="checkbox"/> Français <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/> Anglais		
<b>Mots-clés</b> distance de visibilité, dépassement, marquage, conception routière							



# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1. LA PROBLÉMATIQUE .....	1
1.2. LE CONTENU DU RAPPORT .....	3
<b>2. DÉFINITIONS.....</b>	<b>7</b>
2.1. LE CONDUCTEUR.....	7
2.2. LES DIMENSIONS DES VÉHICULES IMPLIQUÉS .....	7
2.3. LA ROUTE .....	8
2.4. LA CIRCULATION .....	8
2.5. LES VARIABLES DU MODÈLE DANS LE DIAGRAMME ESPACE-TEMPS. ....	11
2.5.1. <i>Le dépassement complété</i> .....	11
2.5.2. <i>Le dépassement abandonné</i> .....	12
2.6. LA TRAJECTOIRE DU VÉHICULE DÉPASSANT .....	14
2.7. LE GENRE DE DÉPASSEMENT .....	15
<b>3. LES VARIABLES DU MODÈLE .....</b>	<b>17</b>
3.1. LE CONDUCTEUR.....	18
3.1.1. <i>Le temps de perception et de réaction</i> .....	18
3.1.2. <i>L'accélération adoptée par le conducteur dépassant</i> .....	18
3.1.3. <i>La décélération pour abandonner le dépassement</i> .....	20
3.2. LES DIMENSIONS DES VÉHICULES IMPLIQUÉS .....	21
3.3. LA ROUTE .....	22
3.4. LA CIRCULATION .....	22
3.4.1. <i>Les vitesses</i> .....	22
3.4.2. <i>Les espacements et les écarts</i> .....	26
3.5. TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PARAMÈTRES ET DE LEURS VALEURS PROPOSÉES .....	32
<b>4. LA MODÉLISATION .....</b>	<b>33</b>
4.1. INTRODUCTION .....	33
4.2. LE PRINCIPE DE LA MODÉLISATION .....	36
4.2.1. <i>Description de la manœuvre de dépassement</i> .....	37
4.2.2. <i>Le dépassement complété</i> .....	39
4.2.3. <i>L'abandon de la manœuvre de dépassement</i> .....	44
4.2.4. <i>Étude des deux cas, compléter ou abandonner le dépassement</i> .....	48
4.2.5. <i>Le point critique</i> .....	51
<b>5. LA DÉCOMPOSITION DE LA MANŒUVRE EN PHASES.....</b>	<b>53</b>
5.1. LA MANŒUVRE DE DÉBOÎTEMENT DE LA VOIE ( $OG_1+D_1$ ) .....	55
5.2. LA MANŒUVRE DE RETOUR À LA VOIE ( $OG_2+D_3-C_2$ ).....	56
5.3. LA DISTANCE DE VISIBILITÉ "MINIMALE" .....	59
<b>6. LE MODÈLE PROPOSÉ.....</b>	<b>63</b>
6.1. INTRODUCTION .....	63
6.2. DÉPASSEMENT AVEC ATTENTE, RETOUR VOLONTAIRE, ACCÉLÉRATION À LA VITESSE DÉSIRÉE: LE CAS 1C. ...	64
6.2.1. <i>Le dépassement complété</i> .....	66
6.2.2. <i>Le dépassement abandonné</i> .....	68
6.3. RÉSUMÉ DES FORMULES POUR LE CAS 1C .....	76
<b>7. ANALYSE .....</b>	<b>79</b>
7.1. INTRODUCTION.....	79
7.2. LES DISTANCES DE VISIBILITÉ POUR LA CONCEPTION GÉOMÉTRIQUE.....	80

7.2.1.	<i>Un véhicule particulier de <math>L_p = 5,6</math> m de longueur en dépasse un autre (<math>L_i = 5,6</math>m)</i> .....	80
7.2.2.	<i>Analyse pour les véhicules lourds</i> .....	85
7.3.	LES DISTANCES DE VISIBILITÉ POUR LE MARQUAGE DES ROUTES.....	86
7.3.1.	<i>Introduction</i> .....	86
7.3.2.	<i>Éléments du marquage proposé</i> .....	89
7.3.3.	<i>Les opportunités de dépassement</i> .....	91
7.3.4.	<i>La longueur minimale d'une zone interdite</i> .....	93
7.3.5.	<i>Marquage pour indiquer au conducteur la fin de la zone de dépassement (zone de marquage avancé)</i> 94	
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>95</b>
<b>9.</b>	<b>RÉFÉRENCES</b> .....	<b>99</b>
	ANNEXE A.....	105
	ANNEXE B.....	114
	ANNEXE C.....	115

## TABLE DES FIGURES

FIGURE 1: ACTIVITÉS PRÉVUES DANS LA PRÉSENTE ÉTUDE. ....	3
FIGURE 2: ILLUSTRATION DES VARIABLES ESPACEMENTS ET CRÉNEAUX. ....	8
FIGURE 3: ESPACEMENT $G_1$ AU DÉBUT DU DÉPASSEMENT. ....	9
FIGURE 4: ESPACEMENT $G_2$ À LA FIN DU DÉPASSEMENT COMPLÉTÉ. ....	9
FIGURE 5: ESPACEMENT $G_3$ À LA FIN DU DÉPASSEMENT ABANDONNÉ. ....	10
FIGURE 6: ESPACEMENTS ENTRE LE VÉHICULE OPPOSÉ ET LE VÉHICULE DÉPASSANT. ....	10
FIGURE 7: DIAGRAMME ESPACE-TEMPS DU DÉPASSEMENT COMPLÉTÉ. ....	12
FIGURE 8: DIAGRAMME ESPACE-TEMPS DU DÉPASSEMENT ABANDONNÉ. ....	13
FIGURE 9: ÉLÉMENTS DE LA TRAJECTOIRE DU VÉHICULE DÉPASSANT. ....	14
FIGURE 10: DIAGRAMME ESPACE-TEMPS D'UN DÉPASSEMENT LANCÉ ET D'UN DÉPASSEMENT AVEC ATTENTE. ....	16
FIGURE 11: DIAGRAMME ESPACE TEMPS DU CAS 3, DÉPASSEMENT LANCÉ POUR ILLUSTRER LE PRINCIPE DE LA MODÉLISATION. ....	39
FIGURE 12: RELATION ENTRE LA VISIBILITÉ NÉCESSAIRE ET LE MOMENT ET L'ENDROIT OÙ ON APERÇOIT LE VÉHICULE VENANT DANS LA VOIE DE GAUCHE. ....	42
FIGURE 13: DIAGRAMME ESPACE-TEMPS DU CAS 3, DÉPASSEMENT LANCÉ. ABANDON DE LA MANŒUVRE DE DÉPASSEMENT POUR ILLUSTRER LE PRINCIPE DE LA MODÉLISATION. ....	45
FIGURE 14: VISIBILITÉ NÉCESSAIRE POUR ABANDONNER LE DÉPASSEMENT LANCÉ EN FONCTION DU TEMPS $T_A$ ET DE L'ENDROIT $X_{PTA}$ OÙ ON APERÇOIT LE VÉHICULE OPPOSÉ. ....	47
FIGURE 15: RELATION ENTRE LE TAUX DE DÉCÉLÉRATION ET LA DISTANCE DE VISIBILITÉ NÉCESSAIRE POUR ABANDONNER. DÉPASSEMENT LANCÉ. ....	48
FIGURE 16: DISTANCE DE VISIBILITÉ NÉCESSAIRE POUR COMPLÉTER OU POUR ABANDONNER LE DÉPASSEMENT À L'ENDROIT $X_{PTA}$ APRÈS LE DÉBUT DU DÉPASSEMENT. ....	49
FIGURE 17: DÉCOMPOSITION DE LA MANŒUVRE DE DÉPASSEMENT EN DIFFÉRENTES PHASES. ....	53
FIGURE 18: DÉPASSEMENT DÉCOMPOSÉ EN TROIS PHASES FONDAMENTALES. ....	54
FIGURE 19: DÉTERMINATION DE L'OCCUPATION DE LA VOIE DE GAUCHE À PARTIR DES TEMPS DONNÉS PAR LE MODÈLE PROPOSÉ. ....	55
FIGURE 20: DIFFÉRENCE ENTRE LES LONGUEURS OG POUR DEUX LARGEURS DE VOIES DIFFÉRENTES. ....	58
FIGURE 21: APPLICATION DE $VISIB_{TC}$ AU MARQUAGE DES COURBES VERTICALES ET HORIZONTALES. ....	60
FIGURE 22: DISTANCES DE VISIBILITÉ POUR LA CONCEPTION DES ROUTES ET POUR LE MARQUAGE. ....	61
FIGURE 23: DIAGRAMME ESPACE-TEMPS DU DÉPASSEMENT COMPLÉTÉ. CAS 1c. ....	67
FIGURE 24: ABANDON DU DÉPASSEMENT AVANT D'AVOIR ATTEINT LA VITESSE DÉSIRÉE $V_p$ . ....	69
FIGURE 25: DIAGRAMME ESPACE TEMPS POUR LE CAS OÙ $T_A < T_A^*$ . ....	71
FIGURE 26: DIAGRAMME ESPACE TEMPS POUR LE CAS OÙ $T_A = T_A^*$ . ....	73
FIGURE 27: DIAGRAMME ESPACE TEMPS POUR LE CAS OÙ $T_A > T_A^*$ . ....	74
FIGURE 28: LE CONDUCTEUR ABANDONNE LE DÉPASSEMENT APRÈS AVOIR ACCÉLÉRÉ À LA VITESSE DÉSIRÉE $V_p$ . ....	75
FIGURE 29: COMPARAISON ENTRE LES DISTANCES SOUHAITABLES DU MODÈLE ET DES NORMES ACTUELLES. ....	82
FIGURE 30: COMPARAISON ENTRE LES DISTANCES DE VISIBILITÉ MINIMALES DU MODÈLE ET DES NORMES. ....	83
FIGURE 31: DISTANCES DE VISIBILITÉ MINIMALES NÉCESSAIRES POUR LES VÉHICULES LOURDS. ....	85
FIGURE 32: DISTANCES DE VISIBILITÉ DE "COMPROMIS" POUR LES VÉHICULES LOURDS. ....	86
FIGURE 33: DISTANCES DE VISIBILITÉ POUR LE MARQUAGE. ....	89
FIGURE 34: LONGUEURS MINIMALES DES ZONES DE DÉPASSEMENT PERMIS PAR RAPPORT À LA VITESSE AFFICHÉE. ....	93
FIGURE 35: DISTRIBUTION DES VITESSES SUR LA ROUTE 138 SELON LA LOI NORMALE $N(92,6;12,9)$ . ....	105
FIGURE 36: TEMPS DE DÉPASSEMENT POUR DIFFÉRENTES VITESSES DE CONCEPTION ET POUR DIFFÉRENTES VALEURS DE M. ....	107
FIGURE 37: VITESSES DES VÉHICULES LENTS QUI PEUVENT ÊTRE DÉPASSÉS PAR UN VÉHICULE ROULANT À UNE CERTAINE VITESSE DONNÉE. ....	109
FIGURE 38: DISTRIBUTION DES VITESSES SUR LA ROUTE 138 SOUS FORME D'HISTOGRAMME. ....	110
FIGURE 39: DISTANCES DE VISIBILITÉ NÉCESSAIRES POUR ABANDONNER OU POUR COMPLÉTER LE DÉPASSEMENT. ....	116



## TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: ACCÉLÉRATIONS (M/S <sup>2</sup> ) DU CONDUCTEUR DÉPASSANT SELON DIFFÉRENTES SOURCES.....	19
TABLEAU 2: NOMBRE DE DÉPASSEMENTS POSSIBLES EN FONCTION DES VITESSES DU VÉHICULE DÉPASSÉ ET DU VÉHICULE DÉPASSANT. ....	23
TABLEAU 3: VITESSES (EN KM/H) DES VÉHICULES IMPLIQUÉS DANS LE DÉPASSEMENT EN FONCTION DE LA VITESSE DE CONCEPTION. ....	24
TABLEAU 4: VITESSES PROPOSÉES POUR L'ANALYSE DU DÉPASSEMENT.....	25
TABLEAU 5: FORMULES POUR LES CRÉNEAUX ESPACE AU DÉBUT DU DÉPASSEMENT. ....	27
TABLEAU 6: CRÉNEAUX ESPACE ADOPTÉS PAR LE CONDUCTEUR DÉPASSANT AU DÉBUT DU DÉPASSEMENT. ....	28
TABLEAU 7: CRÉNEAUX ESPACE G <sub>2</sub> À LA FIN DU DÉPASSEMENT COMPLÉTÉ. ....	29
TABLEAU 8: VALEURS POUR LE CRÉNEAU ESPACE G <sub>3</sub> À LA FIN DE LA MANŒUVRE ABANDONNÉE. ....	30
TABLEAU 9: DISTANCES C <sub>2</sub> ET C <sub>3</sub> ENTRE LES VÉHICULES OPPOSÉS À LA FIN DU DÉPASSEMENT. ....	31
TABLEAU 10: VISIBILITÉ NÉCESSAIRE POUR LE DÉPASSEMENT LANCÉ. VISIBILITÉ NÉCESSAIRE AU POINT T <sub>0</sub> ET AU POINT CRITIQUE. ....	52
TABLEAU 11: DIFFÉRENCE ENTRE LES DISTANCES OG POUR DIFFÉRENTES LARGEURS DE VOIE.....	58
TABLEAU 12: DISTANCE OG POUR DIFFÉRENTES LARGEURS DU VÉHICULE DÉPASSANT P.....	59
TABLEAU 13: DIFFÉRENTS CAS DE COMPORTEMENT À ÉTUDIER.....	63
TABLEAU 14: DÉPASSEMENT DE DEUX VÉHICULES PARTICULIERS. CAS 1C. ....	80
TABLEAU 15 : COMPARAISON ENTRE LES DISTANCES SOUHAITABLES DU MODÈLE ET DES NORMES.....	81
TABLEAU 16: COMPARAISON ENTRE LES DISTANCES DE VISIBILITÉ MINIMALES DU MODÈLE ET DES NORMES ACTUELLES. ....	82
TABLEAU 17: AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES DEUX DISTANCES DE VISIBILITÉ. ....	84
TABLEAU 18: COMPARAISON ENTRE LES DISTANCES DE VISIBILITÉ NÉCESSAIRES POUR DÉPASSER DES VÉHICULES PLUS LONGS ET LA NORME ACTUELLE.....	85
TABLEAU 19: LONGUEURS MINIMALES DES ZONES DE DÉPASSEMENT PERMIS.....	92
TABLEAU 20: LONGUEUR DE LA ZONE DE MARQUAGE AVANCÉ PAR RAPPORT À LA VITESSE AFFICHÉE.....	94
TABLEAU 21: DISTANCES DE VISIBILITÉ DE DÉPASSEMENT POUR LA CONCEPTION ROUTIÈRE. ....	96
TABLEAU 22: DISTANCES DE VISIBILITÉ DE DÉPASSEMENT POUR LE MARQUAGE DES ROUTES. ....	96
TABLEAU 23: LONGUEUR MINIMALE D'UNE ZONE DE DÉPASSEMENT PERMIS. ....	96
TABLEAU 24: LONGUEUR DU MARQUAGE AVANCÉ AVANT LE DÉBUT DE LA LIGNE CONTINUE.....	96
TABLEAU 25: INFLUENCE DES CAMIONS SUR LA DISTANCE DE VISIBILITÉ DE DÉPASSEMENT POUR LA CONCEPTION ROUTIÈRE.....	97
TABLEAU 26: LONGUEURS MINIMALES DES ZONES DE DÉPASSEMENT PERMIS EN FONCTION DE LA LONGUEUR DU VÉHICULE À DÉPASSER (VOIE DE 3,7 M DE LARGEUR). ....	97
TABLEAU 27: CARACTÉRISTIQUES DE LA DISTRIBUTION DE VITESSE À UN ENDROIT SUR LA ROUTE 138. ....	105
TABLEAU 28: TEMPS DE DÉPASSEMENT POUR DIFFÉRENTES VITESSES DE CONCEPTION ET POUR DIFFÉRENTES VALEURS DE M. ....	107
TABLEAU 29: VITESSES DES VÉHICULES LENTS QUI PEUVENT ÊTRE DÉPASSÉS PAR UN VÉHICULE ROULANT À UNE CERTAINE VITESSE V <sub>p</sub> DONNÉE. ....	108
TABLEAU 30: CALCUL DU NOMBRE DE DÉPASSEMENTS EFFECTUÉS PAR UN VÉHICULE ROULANT À LA VITESSE V <sub>p</sub> . ...	112
TABLEAU 31: DÉPASSEMENT D'UN CAMION DE 12 M PAR UNE AUTO.....	114
TABLEAU 32: DÉPASSEMENT D'UN CAMION DE 21 M PAR UNE AUTO.....	114
TABLEAU 33: DÉPASSEMENT D'UN CAMION DE 25 M PAR UNE AUTO.....	115







# 1. INTRODUCTION

## 1.1. LA PROBLÉMATIQUE

Les normes actuelles de visibilité de dépassement élaborées par le Ministère des transports du Québec ont été publiées à l'automne 1993. Pendant les travaux de révision de cette norme, l'un des points importants alors soulevés était que le Ministère n'utilise pas les mêmes distances en conception routière que celles utilisées pour le marquage des routes. Ce problème n'est d'ailleurs pas unique au Québec puisque c'est un peu partout le cas en Amérique du Nord.

Toutefois, dans les dernières années, cette pratique a soulevé tellement d'interrogations que l'Association des transports du Canada (ATC) et le FHWA ont amorcé des travaux de révision dans le but d'uniformiser les deux normes de visibilité de dépassement c'est-à-dire celle pour la conception géométrique et celle pour le marquage. À l'instar de ces organismes, de nombreux chercheurs universitaires ont poursuivi leur questionnement et offrent certaines pistes de solutions.

Une étude comparative des normes sur les distances de visibilité a été effectuée par Baass (1996) et un certain nombre de points ont alors été soulevés, entre autres:

- Les distances de visibilité de dépassement actuellement utilisées ne tiennent pas compte de la présence des camions. Compte tenu de l'augmentation de la limite de longueur des ensembles de véhicules au cours des dernières années (on permet la circulation d'ensembles de 25 mètres sur le réseau régulier), il est impératif de s'assurer que ces véhicules n'augmenteront pas les risques reliés au dépassement. Le modèle à développer doit donc permettre d'évaluer adéquatement ces risques.
- La distance minimale de marquage permettant le dépassement (100 m) n'est pas réaliste, car la distance nécessaire pour effectuer un dépassement à 90 km/h est en réalité de 327 m. Cette situation piège le conducteur car il est obligé, dans le cas d'une zone de 100m, de terminer sa manœuvre de dépassement sur la ligne pleine, ce qui est illégal au sens du Code de la sécurité routière.
- La localisation du début et de la fin de la zone de dépassement interdit est aussi à reconsidérer et de plus, l'usage d'une signalisation adéquate (flèche de rabattement, marquage spécial, panneaux, ...) doit être considéré.

Les objectifs de la présente étude découlent donc directement de cette problématique. Il s'agit en effet d'assurer la cohérence et d'établir l'équité des normes, surtout lorsqu'elles ont une double incidence: légale et sécuritaire. Ces objectifs sont:

- Développement d'un modèle intégrant la conception routière et le marquage des routes;
- Établissement des distances pour la conception géométrique des routes et pour le marquage et ceci en étudiant les influences des véhicules longs sur cette distance.
- Proposition de nouveaux marquages pour tenir compte de ces distances, conformément aux paragraphes du Code de la sécurité routière.

À ces objectifs s'ajoutent l'analyse et la mesure de l'impact que pourraient avoir les nouvelles normes sur le réseau, sur les usagers et sur les opérations du Ministère des transports.

La recherche prend son point de départ sur les résultats de la première phase de recherche effectuée par Baass (1996) et portant sur la comparaison des distances de visibilité des différentes normes. Certains points ont alors été soulevés qui sont reproduits ici:

- Les normes de visibilité de dépassement utilisées pour la conception des routes et pour le marquage sont différentes partout en Amérique du Nord;
- Cette différence est basée sur le fait que différentes hypothèses sont émises pour ces deux applications;
- Il s'est avéré raisonnable d'avoir deux distances de visibilité différentes;
- Ces distances devraient cependant être basées sur un seul et unique modèle analytique.
- Une uniformisation passera par:
  - \* la clarification des lois liées au dépassement;
  - \* l'établissement d'hypothèses de dépassement (genre de dépassement, type de véhicules etc.);
  - \* le choix d'un modèle mathématique décrivant les différents éléments de dépassement;
  - \* l'établissement d'une DVD totale et minimale
  - \* l'établissement de la zone minimale de dépassement selon les lois;
  - \* l'établissement de la longueur minimale de la zone de dépassement interdit;
  - \* le choix d'un ensemble de dispositifs de contrôle de la circulation pour indiquer plus clairement aux conducteurs la fin de la zone de dépassement permis;
  - \* le choix d'une hauteur d'obstacle;
  - \* l'éducation du public, dont un certain pourcentage ne sait pas comment se comporter lors d'un dépassement.

Les activités prévues pour le projet de recherche sont illustrées à la Figure 1.

## 1.2. LE CONTENU DU RAPPORT

### LES ACTIVITÉS PRÉVUES DANS LE PROJET

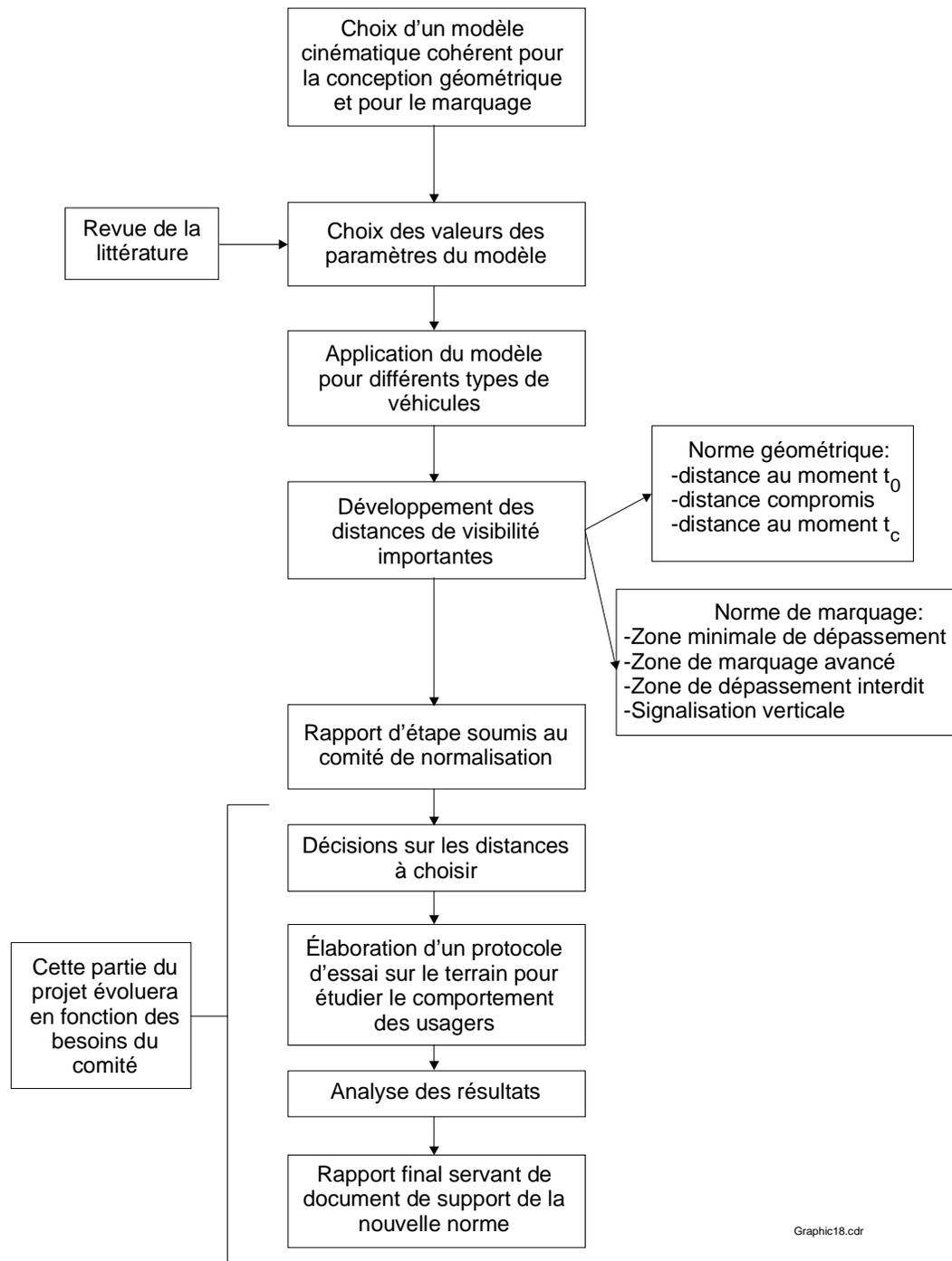


Figure 1: Activités prévues dans la présente étude.

Le présent rapport constitue le rapport d'étape. Ce rapport contient les chapitres suivants:

## Chapitre 2: Définitions

À cause de la complexité du problème, un grand nombre de variables interviennent qui doivent être clairement définies. Elles sont en relation avec les éléments suivants:

- Le conducteur
- Les dimensions des véhicules impliqués;
- La route;
- La circulation
  - Les vitesses des véhicules;
  - Les écarts et les espacements de sécurité entre les véhicules;
- Les variables du modèle (vitesses, distances et temps) dans le diagramme espace-temps
- La trajectoire du véhicule lors du dépassement.

Les définitions données dans ce chapitre ne seront pas reprises par la suite, pour ne pas alourdir le texte. On s'y référera fréquemment afin de mieux comprendre les étapes suivies dans le développement du modèle cinématique du dépassement.

## Chapitre 3: Les variables du modèle

Les variables entrant dans le modèle sont décrites dans ce chapitre. Il s'agit ici d'une revue de la littérature (dont les références sont données à la fin du rapport) pour établir les valeurs des paramètres du modèle. Ces valeurs sont choisies de manière à refléter une situation représentative de dépassement. Ce ne sont pas nécessairement les valeurs les plus grandes des variables mais plutôt les valeurs les plus probables qui produisent une distance de visibilité à la fois "raisonnable" et sécuritaire.

## Chapitre 4: La modélisation

Ce chapitre traite du principe de la modélisation cinématique en analysant avec les formules de la physique mécanique les mouvements des véhicules individuels. Un exemple simple, le dépassement lancé, sert à illustrer ces principes. Ce modèle est le plus simple en termes mathématiques. La façon de modéliser le dépassement dans le présent rapport se distingue de celle utilisée dans la littérature par sa simplicité et sa clarté tout en donnant, bien sûr, les mêmes résultats pour les mêmes hypothèses. Les résultats des modèles de Lieberman, Glennon, Rillet et de Hassan ont été obtenus en utilisant cette approche.

## Chapitre 5: Les phases du dépassement

Nous avons constaté que les différentes études utilisent différents termes et différentes distances pour décrire et pour quantifier le dépassement. Dans le chapitre 5 nous avons décomposé la manœuvre de dépassement en des sous-phases plus petites qui permettent de reconstituer les distances de tous les autres modèles permettant ainsi une comparaison facile des résultats des

différents modèles. Nous avons également produit une figure qui illustre tous les termes rencontrés lors de la revue de la littérature.

#### Chapitre 6: Le modèle proposé

Le modèle proposé est décrit dans le chapitre 6. Il s'agit d'un dépassement avec attente. Le conducteur accélère à la vitesse désirée et finit le dépassement à vitesse constante. Le dépassement est décrit dans ses moindres détails et les formules sont développées qui permettent de modéliser le comportement du conducteur dépassant.

#### Chapitre 7: L'analyse

Ce chapitre donne les résultats de l'analyse pour un véhicule particulier et pour des camions de différentes longueurs (12, 21 et 25 m). Dans la conclusion, différentes distances de visibilité pour la conception géométrique et pour le marquage sont proposées.



## 2. DÉFINITIONS

Il y a de nombreuses variables dont il faut tenir compte dans la modélisation du dépassement.

Ces variables seront groupées selon les aspects suivants :

- Le conducteur;
- Les dimensions des véhicules impliqués;
- La route;
- La circulation;
  - Les vitesses des véhicules;
  - Les écarts et les espacements de sécurité entre les véhicules;
- Les variables du modèle (vitesses, distances et temps) dans le diagramme espace-temps;
- La trajectoire du véhicule lors du dépassement.

### 2.1. LE CONDUCTEUR

Dans cette catégorie de variables se trouvent les temps de réaction ainsi que l'accélération et la décélération adoptées par le conducteur.

Le conducteur et les véhicules sont identifiés par un indice. Ces indices suivent la nomenclature utilisée par Glennon et Lieberman et ceci dans le souci de permettre une comparaison facile entre les modèles.

- I représente le véhicule et le conducteur dépassé;
- P représente le véhicule et le conducteur dépassant;
- O représente le véhicule et le conducteur circulant en sens opposé.

$t_1$	temps de perception - réaction au début de la manœuvre (s).
$t_2$	temps de perception – réaction au moment où on aperçoit le véhicule en sens opposé. Il s'agit alors de décider soit de continuer le dépassement soit de l'abandonner (s).
a	accélération adoptée par le conducteur dépassant ( $m/s^2$ ).
d	décélération adoptée par le conducteur dépassant lors de l'abandon du dépassement ( $m/s^2$ ).

### 2.2. LES DIMENSIONS DES VÉHICULES IMPLIQUÉS

$L_i$	Longueur du véhicule dépassé;
$L_p$	Longueur du véhicule dépassant;
$W_i$	Largeur du véhicule dépassé;
$W_p$	Largeur du véhicule dépassant.

### 2.3. LA ROUTE

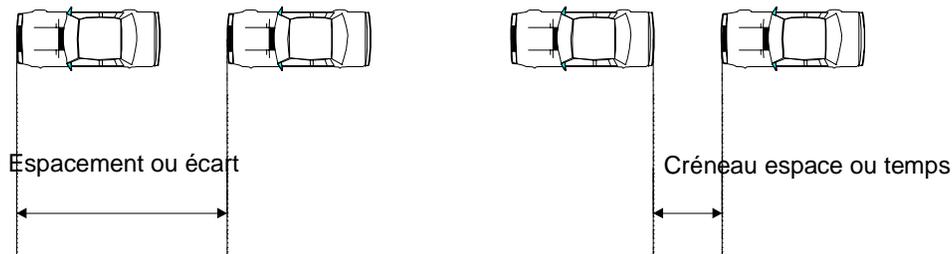
$L_{\text{voie}}$  Largeur de la voie de circulation (m).

### 2.4. LA CIRCULATION

- Les vitesses: les vitesses des véhicules seront identifiées par une lettre majuscule s'il s'agit d'une vitesse en km/h et par une lettre minuscule, s'il s'agit d'une vitesse en mètres à la seconde. Dans certains cas, il est préférable d'utiliser les vitesses en mètres à la seconde, notamment dans les calculs reliés au diagramme espace-temps.

- $v_i$  Vitesse du véhicule dépassé (m/s)
- $v_o$  Vitesse du véhicule venant en sens opposé (m/s)
- $v_p$  Vitesse du véhicule dépassant (m/s)
  - $v_{pta}$  Vitesse du véhicule dépassant au moment  $t_a$  (m/s)
  - $v_{p(ta+t2)}$  Vitesse du véhicule dépassant au moment  $(t_a + t_2)$  (m/s)
  - $v_{pfin}$  Vitesse du véhicule dépassant à la fin de l'abandon de la manœuvre de dépassement (m/s)
- $m$  Différence entre la vitesse du véhicule dépassé et la vitesse du véhicule dépassant (m/s).

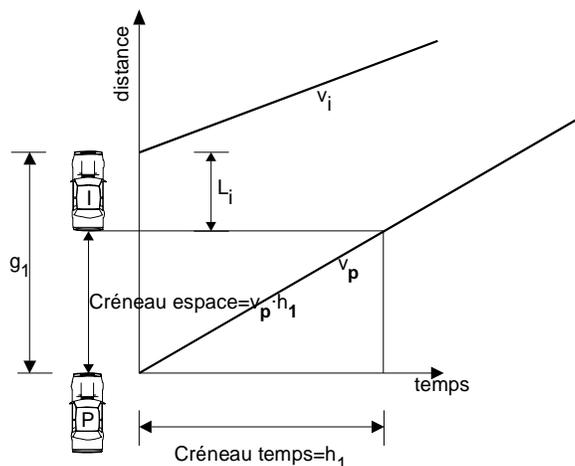
- Les créneaux et espacements: À ce propos, il s'agit de bien définir les variables, car dans la littérature deux concepts sont fréquemment mélangés. On parle d'espacements et d'écart si on mesure soit la distance soit le temps entre les pare-chocs avant de deux véhicules consécutifs et on parle de créneaux si on mesure la distance entre les pare-chocs arrière et avant de deux véhicules consécutifs. La Figure 2 illustre ces variables.



**Figure 2: Illustration des variables espacements et créneaux.**

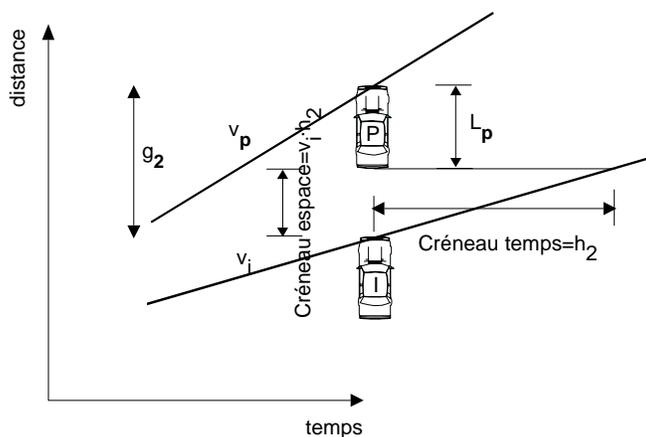
Lors du calcul des distances de visibilité, il est plus aisé de se baser sur des distances mesurées entre les pare-chocs avant de deux véhicules consécutifs. Nous utilisons donc les espacements suivants:

- $g_1$  Espacement entre le pare-chocs avant du véhicule dépassé I et le pare-chocs avant du véhicule dépassant P au début de la manœuvre de dépassement (m) (Figure 3);



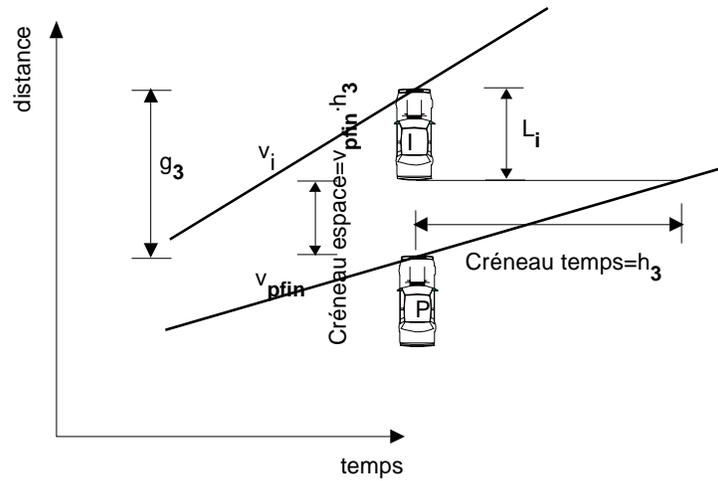
**Figure 3: Espacement  $g_1$  au début du dépassement.**

- $g_2$  Espacement entre le pare-chocs avant du véhicule dépassant P et le pare-chocs avant du véhicule dépassé I à la fin de la manœuvre de dépassement complétée (m) (Figure 4);



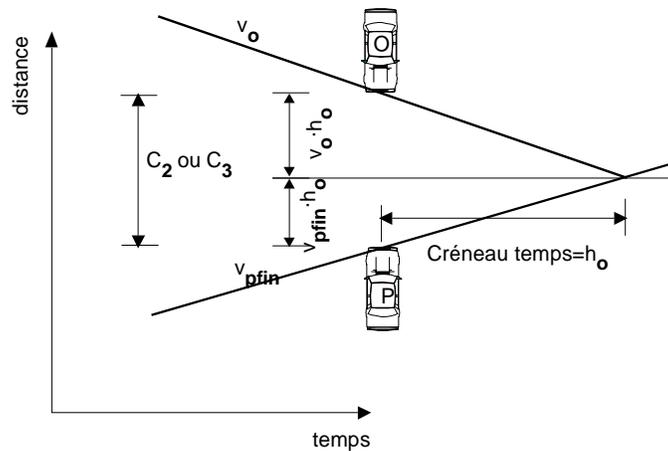
**Figure 4: Espacement  $g_2$  à la fin du dépassement complété.**

- $g_3$  Espacement entre le pare-chocs avant du véhicule I et le pare-chocs avant du véhicule P à la fin de la manœuvre de dépassement abandonnée (m) (Figure 5);



**Figure 5: Espacement  $g_3$  à la fin du dépassement abandonné.**

- $C_2$  Distance de sécurité entre le pare-chocs avant du véhicule O venant en sens opposé et le pare-chocs avant du véhicule P qui vient de dépasser (m);
- $C_3$  Distance de sécurité entre le pare-chocs avant du véhicule O venant en sens opposé et le pare-chocs avant du véhicule P qui vient d'abandonner le dépassement et qui se trouve au milieu de la voie de droite (m);



**Figure 6: Espacements entre le véhicule opposé et le véhicule dépassant.**

Normalement, on considère que le conducteur choisit la distance entre son pare-chocs avant et le pare-chocs arrière du véhicule devant lui en fonction du temps. Il s'agit donc d'un créneau temps. Ces créneaux dépendent de la situation et sont comme suit:

- $h_1$  Créneau temps entre le pare-chocs arrière du véhicule I à dépasser et le pare-chocs avant du véhicule P voulant dépasser au début du dépassement (s);
- $h_2$  Créneau temps entre le pare-chocs arrière du véhicule P qui vient de dépasser et le pare-chocs avant du véhicule I dépassé à la fin du dépassement complété (s);
- $h_0$  Créneau temps entre le pare-chocs avant du véhicule P qui vient de dépasser et le pare-chocs avant du véhicule O venant en sens opposé et ceci aussi bien pour le dépassement complété que pour le dépassement abandonné (s);

## 2.5. LES VARIABLES DU MODÈLE DANS LE DIAGRAMME ESPACE-TEMPS.

Le diagramme espace-temps est l'outil fondamental pour le développement des modèles de dépassement. L'ordonnée du diagramme est la distance et l'abscisse représente le temps. Une ligne dans ce diagramme représente l'évolution du véhicule dans l'espace et dans le temps. La pente de cette ligne représente la vitesse. Une ligne droite signifie une vitesse constante tandis qu'une ligne incurvée vers le haut (concave) représente une accélération et une ligne incurvée vers le bas montre une décélération.

Dans ce graphique, nous allons utiliser deux indices rattachés aux distances et aux temps, à savoir l'indice a pour l'abandon et l'indice c pour le dépassement complété.

### 2.5.1. Le dépassement complété

- $t_c$  L'instant où le conducteur P aperçoit le véhicule O venant en sens opposé.  $t_c$  peut varier entre le début du dépassement  $t_0$  et la fin du dépassement complété  $T_c$ .
- $T_c$  Le temps total nécessaire pour compléter la manœuvre de dépassement. Ce temps est indépendant du moment  $t_c$  où le conducteur P aperçoit le véhicule opposé.
- $t_v$  Le temps nécessaire pour accélérer à la vitesse considérée comme maximale pour le dépassement (la vitesse désirée). Après ce temps, le dépassement s'effectue à vitesse constante.
- $x_{ptc}$  La position du véhicule P au moment  $t_c$ .
- $x_{otc}$  La position du véhicule O au moment  $t_c$ .
- $x_{pTc}$  La position du véhicule P au moment  $T_c$ .
- $x_{ptv}$  La position du véhicule P au moment  $t_v$ .
- $VISIB_{t_c}$  La visibilité nécessaire au moment  $t_c$  pour finir le dépassement. Cette visibilité varie avec le moment  $t_c$ .

Ces variables sont illustrées sur la Figure 7.

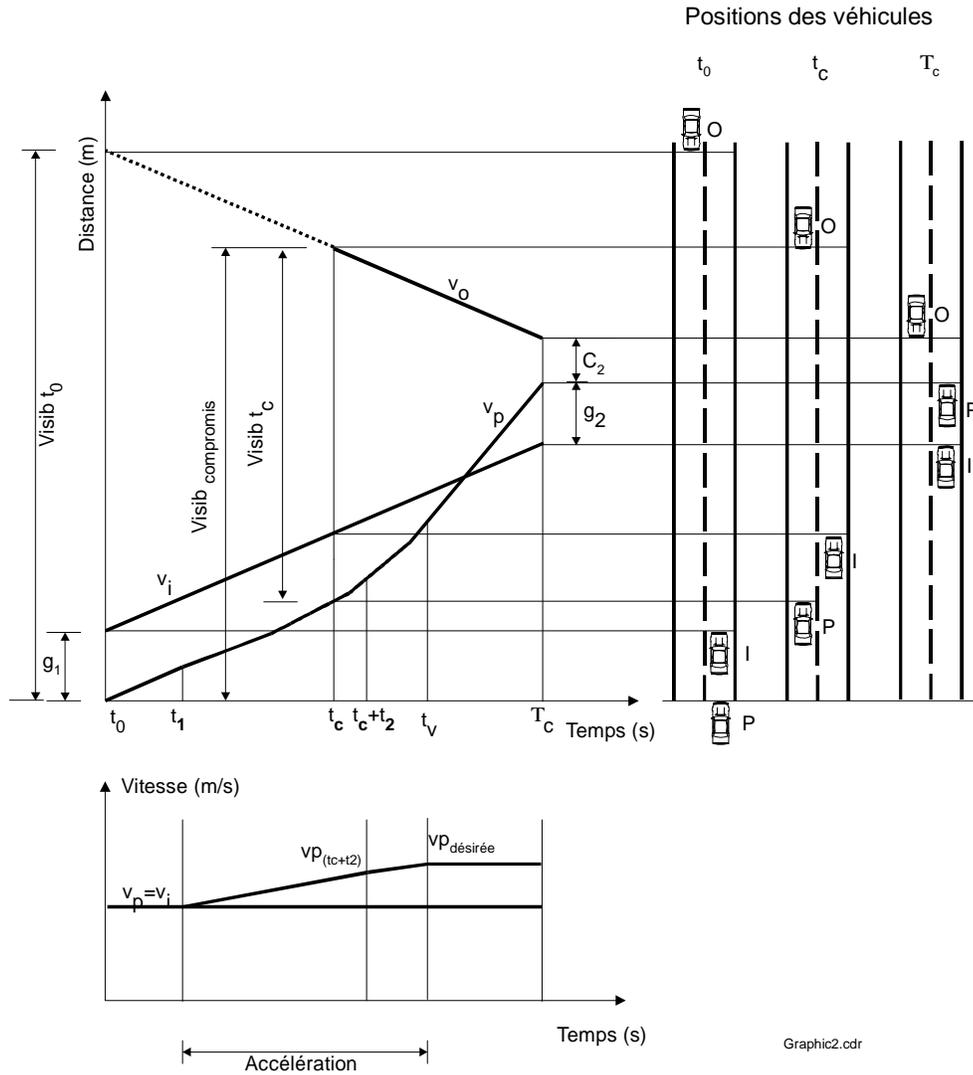


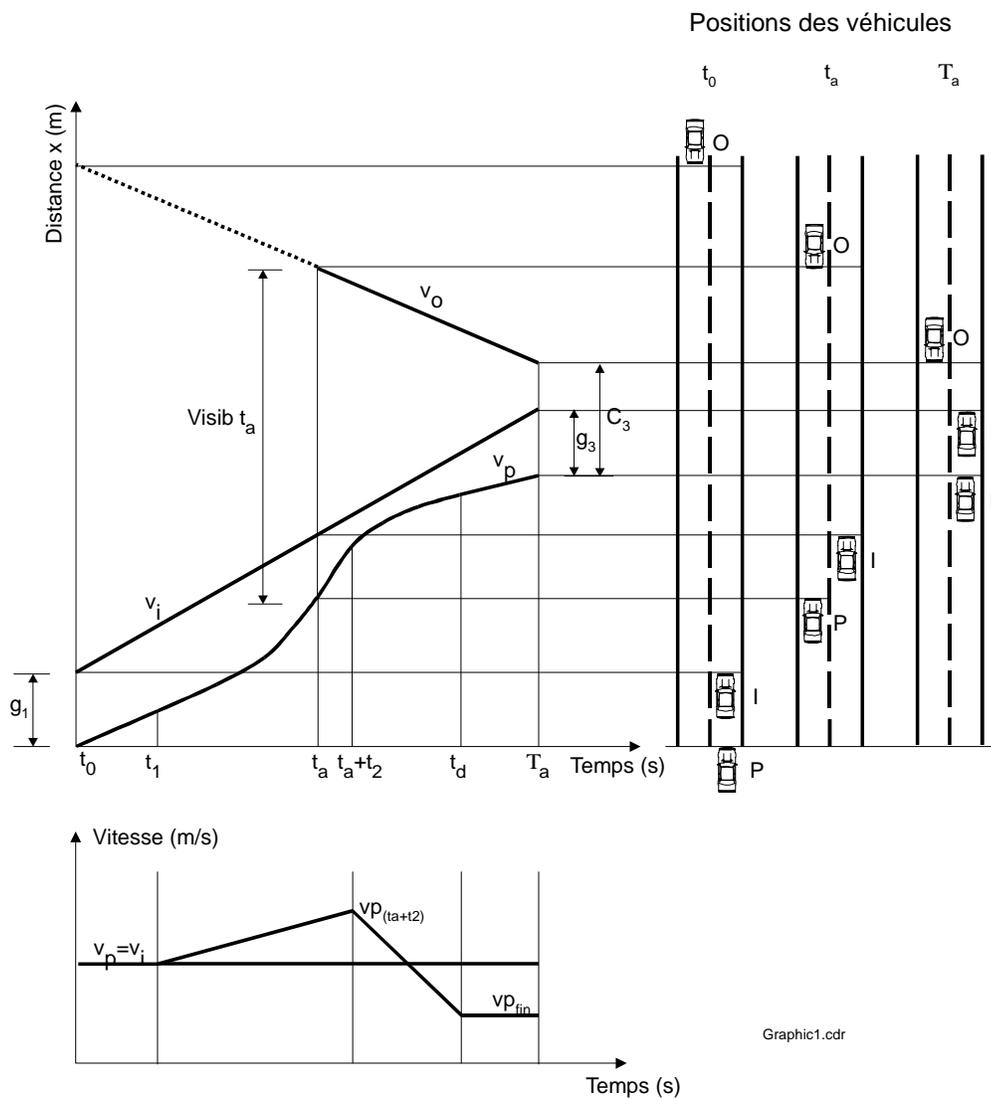
Figure 7: Diagramme espace-temps du dépassement complété.

### 2.5.2. Le dépassement abandonné

- $t_a$  L'instant où le conducteur P aperçoit le véhicule O venant en sens opposé.  $t_a$  peut varier entre le début du dépassement  $t_0$  et la fin du dépassement complété  $T_c$ .
- $T_a$  Le temps total nécessaire pour abandonner la manœuvre de dépassement si on aperçoit le véhicule opposé O au moment  $t_a$ . Ce temps n'est pas indépendant du moment  $t_a$  où le conducteur P aperçoit le véhicule opposé.

- $t_d$  Moment où le véhicule P a décéléré à une vitesse finale  $v_{pfin}$  à la fin de l'abandon du dépassement, au moment où le véhicule se trouve de nouveau dans la voie droite derrière le véhicule i.
- $x_{pta}$  La position du véhicule P au moment  $t_a$ .
- $x_{pTa}$  La position du véhicule P au moment  $T_a$ .
- $x_{ptd}$  La position du véhicule P au moment  $t_d$ .
- $VISIB_{t_a}$  La visibilité nécessaire au moment  $t_a$  pour abandonner le dépassement. Cette visibilité varie avec le moment  $t_a$ .
- $\Delta c$  La distance entre le pare-chocs avant du véhicule I et le pare-chocs avant du véhicule P au moment  $t_a$ .

Ces variables sont illustrées à la Figure 8.



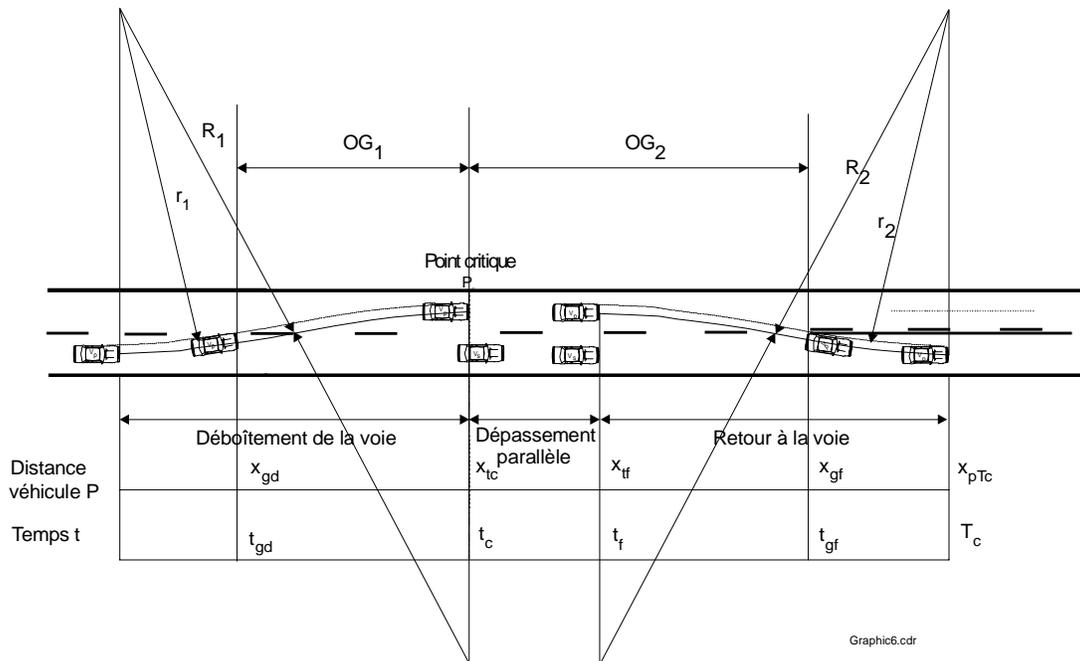
**Figure 8: Diagramme espace-temps du dépassement abandonné.**

## 2.6. LA TRAJECTOIRE DU VÉHICULE DÉPASSANT

Le mouvement de dépassement se compose de deux changements de voies. La courbe théorique sur laquelle s'effectue ce changement de voie s'apparente à une suite de clothoïdes. Sledge et al. (1997) démontrent que plusieurs autres fonctions mathématiques peuvent très bien décrire le chemin parcouru par le véhicule, entre autres une courbe polynomiale du cinquième degré. Il s'avère cependant que cette précision n'est pas nécessaire dans le contexte de la manœuvre de dépassement et qu'on peut l'approximer par une suite de deux courbes circulaires en S.

Lorsqu'on a déterminé les distances de visibilité nécessaires, il s'agit de décomposer le dépassement dans certaines étapes, d'abord pour fins de comparaison avec d'autres modèles et ensuite pour les besoins du marquage et de la conception des routes.

La trajectoire du véhicule est décrite à la Figure 9.



**Figure 9: Éléments de la trajectoire du véhicule dépassant.**

$R_1$	Rayon de la courbe en S décrite par le centre du véhicule P au début du dépassement;
$r_1$	Rayon de la courbe en S décrite par le côté gauche avant du véhicule P au début du dépassement;
$t_{gd}$	moment où le véhicule dépassant quitte la voie de droite (le devant gauche du véhicule dépassant traverse l'axe de la route);
$x_{gd}$	endroit où le véhicule dépassant quitte la voie de droite (le devant gauche du véhicule dépassant traverse l'axe de la route);
$t_f$	moment où les pare-chocs des véhicules I et P sont au même niveau;
$x_{tf}$	endroit où les pare-chocs des véhicules I et P sont au même niveau;
$R_2$	Rayon de la courbe en S décrite par le centre du véhicule P à la fin du dépassement;
$r_2$	Rayon de la courbe en S décrite par le côté arrière gauche du véhicule P à la fin du dépassement;
$t_{gf}$	moment où le véhicule dépassant a quitté complètement la voie de gauche (l'arrière gauche du véhicule dépassant traverse l'axe de la route);
$x_{gf}$	endroit où le véhicule dépassant a quitté complètement la voie de gauche (l'arrière gauche du véhicule dépassant traverse l'axe de la route);
$OG_1$	distance entre le point $x_{gd}$ et le point critique. Occupation de la voie de gauche jusqu'au point critique;
$OG_2$	distance entre le point critique et le point $x_{gf}$ . Occupation de la voie de gauche à partir du point critique.

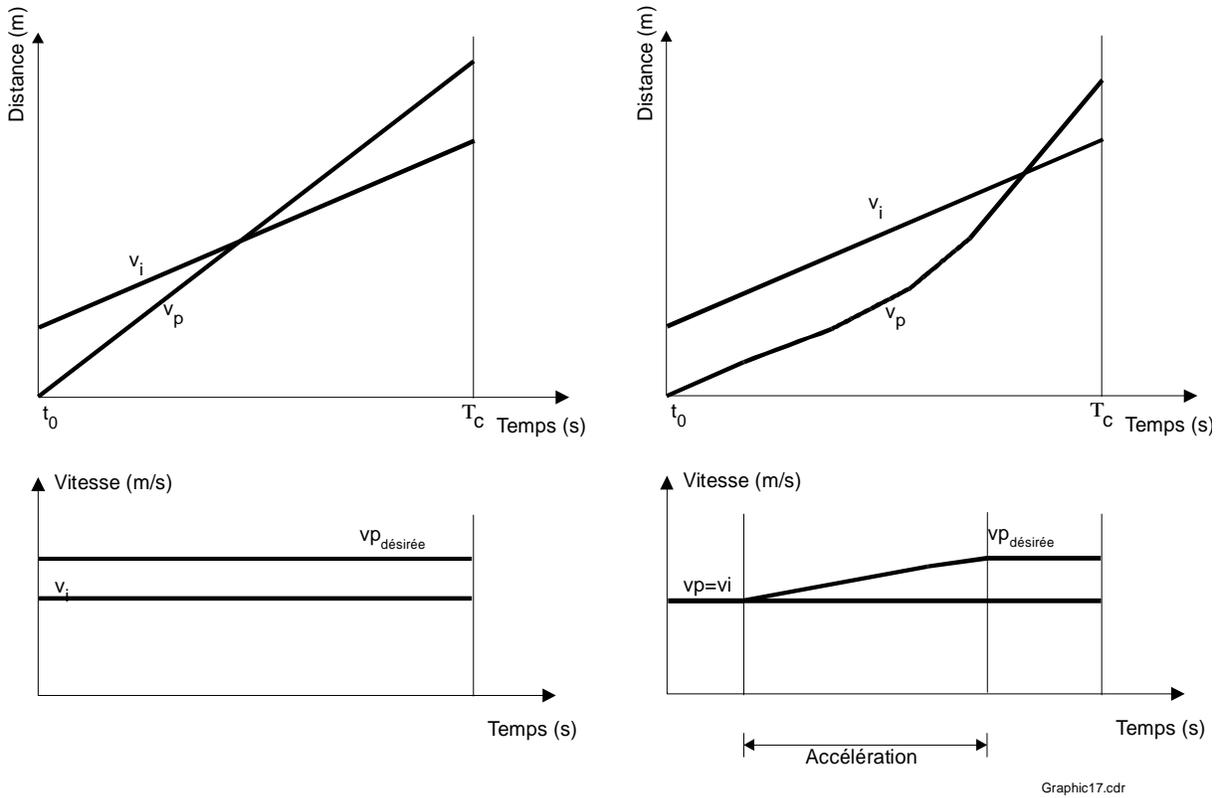
## 2.7. LE GENRE DE DÉPASSEMENT

On distingue entre:

- Dépassement lancé (flying pass). Le véhicule dépassant a une vitesse plus élevée que la vitesse du véhicule à dépasser et déboîte sans ralentir et sans se ranger derrière celui-ci.
- Dépassement avec attente (delayed pass): Au début, les deux véhicules roulent à la même vitesse. Le conducteur suiveur accélère lorsqu'il trouve une occasion favorable et dépasse, tandis que celui qui est dépassé continue à vitesse constante. Dans la norme de conception géométrique, on considère ce cas comme cas critique sur lequel on base les distances de visibilité de dépassement.

La Figure 10 illustre les diagrammes espace-temps de ces deux types de manœuvres.

## Définitions



**Figure 10: Diagramme espace-temps d'un dépassement lancé et d'un dépassement avec attente.**

### 3. LES VARIABLES DU MODÈLE

Un grand nombre de paramètres entrent dans le modèle cinématique du dépassement si on veut obtenir une représentation fidèle de la réalité. Les valeurs de ces paramètres devraient être observées et mesurées sur la route et le modèle devrait être calibré en conséquence. Pour les fins de la présente étude, et étant donné les coûts qu'un tel travail occasionnerait, ces valeurs ont été recherchées dans la documentation disponible. Les résultats de cette recherche ainsi que les valeurs proposées pour le modèle à adopter sont décrits dans les paragraphes suivants.

Dans certains cas, les valeurs des paramètres utilisés par les chercheurs varient considérablement et on peut postuler que les vraies valeurs des paramètres suivent en réalité une distribution de probabilité (souvent normale) avec une valeur moyenne et un écart-type donnés. Une analyse de sensibilité déterministe avec les valeurs minimales et maximales pourrait être effectuée ou encore une analyse probabiliste où on ferait intervenir les distributions de probabilité dans l'analyse telle que proposée par exemple par Good et al (1991).

Étant donné l'ampleur réduite de la présente étude, il a été décidé de limiter l'analyse à des valeurs des paramètres les plus probables tout en tenant compte de la spécificité du Québec. Les variables seront étudiées dans les paragraphes suivants selon l'ordre établi dans le chapitre sur les définitions, à savoir les variables touchant:

- Le conducteur
- Les dimensions des véhicules impliqués;
- La route;
- La circulation
  - Les vitesses des véhicules;
  - Les écarts et les espacements de sécurité entre les véhicules;
- Les variables du modèle (vitesses, distances et temps) dans le diagramme espace-temps
- La trajectoire du véhicule lors du dépassement.

### 3.1. LE CONDUCTEUR

#### 3.1.1. Le temps de perception et de réaction

Le temps de perception et de réaction intervient à deux moments différents dans le dépassement, premièrement au début du dépassement et deuxièmement au point critique où le conducteur doit décider s'il continue son dépassement ou s'il l'abandonne.

Le véhicule p suit le véhicule i dans l'attente de le dépasser. Entre le moment où les conditions favorables au dépassement se présentent et celui où le conducteur s'en rend compte s'écoule le temps de perception et de réaction  $t_1$ . Selon l'état d'esprit alerte ou non du conducteur lors du dépassement, on peut penser que le temps de réaction au début du dépassement se situe entre 0,7 et 1,3 secondes avec une valeur moyenne d'une seconde. C'est d'ailleurs cette valeur qui a été choisie par exemple par Glennon (1989) et par Ohene (1988) et nous pensons que cette valeur devrait être utilisée dans le modèle.

$$t_1 = 1 \text{ s}$$

Au point critique, selon Walbaum (1998) ce temps varierait entre 0,85 et 2,5 secondes avec une valeur moyenne de 1,3 secondes. Good et al (1991) estiment que la valeur minimale est de 1 seconde avec un maximum de 3,5 secondes et une moyenne de 2,5 secondes.

Il est vrai qu'une fois arrivé au point critique, la décision à prendre est plus complexe qu'au début du dépassement étant donné la difficulté d'évaluer la vitesse et la distance par rapport au véhicule venant en sens opposé. Par contre, le conducteur se trouve dans un état très alerte et réagira rapidement. Les temps de plus de 1,5 secondes semblent exagérés dans ce contexte et il est proposé de choisir un temps de perception et de réaction de 1,5 secondes.

$$t_2 = 1,5 \text{ s.}$$

#### 3.1.2. L'accélération adoptée par le conducteur dépassant

C'est un paramètre qui a suscité beaucoup d'intérêt de la part des chercheurs.

Les valeurs se trouvent entre 0,44 et 2,5  $\text{m/s}^2$  dépendant des vitesses et des modèles utilisés.

Il y a essentiellement deux approches suivies par les chercheurs. La première est basée sur des observations dont un bon exemple sont les travaux de l'AASHTO (ces valeurs sont d'ailleurs aussi utilisées dans la norme actuelle du Québec). Fait intéressant, ces accélérations sont plus faibles à faible vitesse et augmentent légèrement avec la vitesse. Cependant, la variation de cette accélération est faible et les valeurs se trouvent entre 0,629 et 0,672 m/s<sup>2</sup> pour des vitesses entre 50 et 100 km/h. Ces observations datent des années 1940 et n'ont pas été changées dans les publications plus récentes de l'AASHTO.

Ces valeurs surprennent, car on sait que normalement les accélérations diminuent avec la vitesse du véhicule et ceci est dicté par la puissance du moteur et par les résistances au mouvement.

L'autre approche se base plutôt sur la performance des moteurs, par exemple l'approche utilisée par Lieberman qui se base sur le modèle suivant:

$$a = a_{\max} \cdot \left( 1 - \frac{V}{V_{\max}} \right)$$

où  $a_{\max}$  = accélération maximale à vitesse zéro (m/s<sup>2</sup>);  
 $V_{\max}$  = vitesse maximale que le véhicule peut atteindre (km/h).

Cette approche est utilisée entre autres par Good et al, par Walbaum et par Krummins. Dans ce modèle, les accélérations diminuent avec la vitesse, ce qui correspond bien au comportement des conducteurs et aux performances des moteurs.

D'autres sources, comme le "Traffic Engineering Handbook" (1992) et certaines études australiennes donnent également des valeurs intéressantes. Le Tableau 1 permet de comparer les accélérations selon différentes sources et d'en choisir un ensemble.

Vitesse (km/h)	Krummins $a_{\max}=4,02$ $V_{\max}=146,1$	Walbaum $a_{\max}=3,33$ $V_{\max}=196$	AASHTO $0,000721V + 0,593007$	Québec	Traffic Eng. Handbook max 66%		Australie max.
50	2,644	2,481	0,629	0,619	1,584	1,056	2,795
60	2,369	2,311	0,636	0,628	1,463	0,975	2,408
70	2,094	2,141	0,643	0,636	1,351	0,900	2,075
80	1,819	1,971	0,651	0,644	1,247	0,831	1,787
90	1,544	1,801	0,658	0,653	1,152	0,768	1,540
100	1,268	1,631	0,665	0,661	1,063	0,709	1,326
110	0,993	1,461	0,672	0,669	0,982	0,654	1,143

**Tableau 1: Accélérations (m/s<sup>2</sup>) du conducteur dépassant selon différentes sources.**

En analysant ce tableau, on s'aperçoit que les accélérations de Krummins, de Walbaum et venant d'Australie se ressemblent, mais elles sont relativement élevées et proches de la valeur maximale. On sait cependant que le conducteur n'utilise que rarement (sauf peut-être dans des cas d'extrême urgence) les accélérations maximales. Selon le Traffic Engineering Handbook, les accélérations maximales seraient d'ailleurs plus faibles que celles utilisées par Krummins et d'autres, de plus, selon cette source, on observe en pratique plutôt des valeurs d'environ deux tiers du maximum. Les valeurs calculées sur cette base sont montrées dans la colonne 7 du Tableau 1.

Étant donné que les valeurs de la colonne 7 (66% du maximum du Traffic Engineering Handbook) sont assez proches des valeurs de l'AASHTO mais varient selon la vitesse, il est proposé d'utiliser ces valeurs.

Une régression ( $R^2 = 0,9985$ ) sur ces valeurs donne une formule plus facilement utilisable dans les analyses subséquentes:

$$a = 1.5738 \cdot e^{-0.007976 \cdot V_p} \quad (V_p \text{ en km/h})$$

Il ressort également de la littérature que pour les camions qui dépassent un véhicule plus lent, ces valeurs sont nettement trop élevées. Selon Baraket (1993) les camions ne peuvent guère fournir plus de 0,035 g d'accélération, ce qui rallonge donc les distances de visibilité de manière significative. Il a d'ailleurs été décidé que, dans le cadre de la présente étude, les dépassements de la part des camions ne seraient pas étudiés, étant donné que ces valeurs ne seraient pas utilisées dans une norme de géométrie ou de marquage des routes.

### **3.1.3. La décélération pour abandonner le dépassement**

Les auteurs s'accordent pour dire que l'on devrait considérer le cas d'une chaussée mouillée et de qualité de surface médiocre, ainsi que le fait que le conducteur doit se rabattre en freinant lorsqu'il abandonne un dépassement. À cause des forces latérales introduites lors du changement de voie sur un arc circulaire, il serait souhaitable de limiter cette décélération à  $2,4 \text{ m/s}^2$  (Krummins, Glennon, FHWA-89-226). D'autres auteurs tels que Lieberman, Rillet, Dumartinet

et Saito trouvent qu'une décélération entre  $3 \text{ m/s}^2$  et  $3,66 \text{ m/s}^2$  est acceptable pour cette manœuvre.

Good et al. considèrent une variation entre 2 et  $4 \text{ m/s}^2$  avec une valeur de 2,4 comme la plus probable. Compte tenu de la manœuvre relativement peu fréquente, une décélération de  $3 \text{ m/s}^2$  semble raisonnable, surtout si on ne permet pas que la vitesse de la voiture abandonnant le dépassement tombe en dessous d'une vitesse minimale. C'est également avec cette valeur que l'on calcule la durée du temps de feu jaune à un feu tricolore. On choisira donc une valeur de  $3 \text{ m/s}^2$ .

$$d = 3 \text{ m/s}^2$$

### 3.2. LES DIMENSIONS DES VÉHICULES IMPLIQUÉS

Pour les véhicules particuliers, les valeurs utilisées dans la documentation pour la longueur du véhicule varient entre 4,5 et 5,8 m. Une valeur de 5,6 mètres, valeur qui correspond à la norme est donc proposée.

$$L_p = L_i = 5,6 \text{ m}$$

Pour les véhicules lourds, différentes longueurs ont été utilisées dans les différentes études; ces longueurs étant souvent dictées par le but de l'étude. Une longueur de 12 mètres pour un camion simple et de 21 mètres pour une semi-remorque serait à considérer selon les normes ou encore de 25 m selon Barton (1998). Nous allons donc analyser le dépassement pour les trois longueurs suivantes:

$$L_i = 12, 21 \text{ et } 25 \text{ m}$$

La largeur du véhicule particulier est de 2 m et celle du véhicule lourd de 2,6 m (ATC, 1998).

$$W_i = 2,0 \text{ ou } 2,6 \text{ m}$$

$$W_p = 2,0 \text{ m}$$

### 3.3. LA ROUTE

Selon la classe de la route la largeur de la voie peut varier entre 3 et 3,7 mètres. Pour les fins de l'analyse, nous utiliserons une valeur de 3,5 m.

$$L_{\text{voie}} = 3,5 \text{ m}$$

### 3.4. LA CIRCULATION

#### 3.4.1. Les vitesses

La vitesse du véhicule dépassant et la vitesse du véhicule dépassé ont une grande influence sur la distance de visibilité nécessaire.

Plus la vitesse du véhicule dépassant est grande, plus la visibilité nécessaire est grande, mais il y a aussi la différence  $m$  entre la vitesse du véhicule dépassant  $v_p$  et la vitesse du véhicule dépassé  $v_i$  qui est déterminante. On peut dire que pour une même vitesse  $v_p$  la distance de visibilité nécessaire diminue lorsque cette différence  $m$  augmente, c'est à dire lorsque  $v_i$  est plus petite. La distance de visibilité nécessaire devient infiniment grande lorsque la vitesse du véhicule dépassant est la même que celle du véhicule dépassé.

Si on conçoit une route pour une distance de visibilité donnée, correspondant à une vitesse du véhicule dépassant  $v_p$  et à une vitesse  $v_i$  pour le véhicule lent, on accepte que tous les véhicules roulant à une vitesse entre  $v_p$  et  $v_i$  ( $v_i = v_p - m$ ) ne puissent pas être dépassés en sécurité par ce véhicule car la distance de visibilité disponible serait alors inférieure à la distance nécessaire. Par contre, tous les véhicules roulant à des vitesses inférieures à  $v_i$  peuvent être dépassés en sécurité par le véhicule roulant à la vitesse  $v_p$ .

Le choix de  $v_p$  et de  $m$  fixe alors le nombre de dépassements que l'on peut effectuer en sécurité pour une route donnée. Pour clarifier ce point, une analyse a été faite, basée sur des observations

de vitesse au Québec, qui est rapportée dans l'annexe A et dont les résultats sont présentés ici en résumé.

L'analyse en annexe vise à déterminer le nombre de dépassements qui peuvent s'effectuer en sécurité si on se base sur différentes vitesses  $v_p$  et  $v_i$ . Cette analyse a été faite pour une route avec une vitesse affichée de 90 km/h et de 153 véhicules à l'heure, dont la vitesse moyenne est de 92,6 km/h,  $V_{15} = 80$  km/h et  $V_{85} = 106$  km/h. Le Tableau 2 résume les résultats.

$V_p$	$V_i$	m	nombre de dépassements possibles
94	79	15	6,9
100	85	15	13,1
106	91	15	18,4

**Tableau 2: Nombre de dépassements possibles en fonction des vitesses du véhicule dépassé et du véhicule dépassant.**

Idéalement, on devrait baser  $V_p$  sur la vitesse du 85<sup>iem</sup> centile et choisir m de façon à pouvoir dépasser au moins tous les véhicules roulant à une vitesse inférieure à la vitesse moyenne (ligne 3 du Tableau 2). L'implication inévitable serait une augmentation de la distance de visibilité requise. D'autre part, réduire la vitesse  $V_p$  revient à empêcher un certain nombre de dépassements désirés et ceci à cause d'une distance de visibilité insuffisante. Un compromis est donc souhaitable.

À ce propos, il est intéressant d'étudier les vitesses choisies par les différents chercheurs consultés dans la documentation. Il y a essentiellement deux écoles de pensée, à savoir celle suivant l'approche de l'AASHTO (1994) et celle de Glennon. Ces deux approches se distinguent par le choix de  $v_p$  et de m. Les vitesses sont illustrées dans le Tableau 3.

V <sub>c</sub> (km/h)	AASHTO, 1994				Québec, 1993					Glennon		
	V <sub>i</sub>	V <sub>p</sub>	m	V <sub>i</sub> estimée	V <sub>aff</sub>	V <sub>i</sub>	V <sub>p</sub>	V <sub>o</sub>	m	V <sub>i</sub>	V <sub>p</sub>	m
50	44	59	15	44,0	40	42	58	40	16	31	50	19
60	51	66	15	51,0	50	50	66	50	16	42	60	18
70	59	74	15	58,0	60	58	74	60	16	53	70	17
80	65	80	15	65,0	70	66	82	70	16	64	80	16
90	73	88	15	72,0	80	71	87	80	16	75	90	15
100	79	94	15	79,0	90	79	95	90	16	86	100	14
110	85	100	15	86,0	100	84	100	100	16	97	110	13

**Tableau 3: Vitesses (en km/h) des véhicules impliqués dans le dépassement en fonction de la vitesse de conception.**

Les vitesses  $V_p$  pour l'AASHTO (1994), qui correspondent essentiellement à celles des années 1940, peuvent être estimées à l'aide de la formule suivante (indiquant que le résultat sera arrondi à 0 décimales):

$$V_p = \text{arrondi}(1,626344 \cdot V_c^{0,843107}, 0) + 15 \quad (\text{km / h})$$

On s'aperçoit que les vitesses du véhicule dépassant adoptées par l'AASHTO dépassent la vitesse affichée et même la vitesse de conception pour des vitesses comprises entre 50 et 80 km/h, mais sont inférieures à ces vitesses pour des vitesses de conception plus élevées. Au Québec, on a utilisé la même approche et les valeurs sont montrées également dans le Tableau 3.

Glennon, par contre, pense que la vitesse du véhicule dépassant se situe près de la vitesse de conception, ce qu'il avait confirmé par des observations dans les années 70. On remarque donc une différence entre les valeurs de l'AASHTO et de Glennon qui s'explique probablement par le fait que les études ont été effectuées à un intervalle de temps de 30 ans et que les vitesses des véhicules (notamment celle du 85<sup>ième</sup> centile) ont augmenté.

Considérant les résultats de l'analyse faite en annexe et vu l'importance de  $v_p$  et  $m$  dans le calcul de la distance de visibilité, il s'agit d'être prudent mais réaliste dans le choix de ces vitesses.

Les valeurs utilisées par Glennon s'approchent de la vitesse du 85<sup>ième</sup> centile et sont donc plus réalistes. Pour Glennon, la vitesse du véhicule dépassant correspond à la vitesse de conception de la route et ce sont ces valeurs qui sont proposées pour l'analyse.

On propose donc les valeurs suivantes (Tableau 4) pour les différentes vitesses.

$V_{\text{conception}}$ (km/h)	$V_{\text{affichée}}$ (km/h)	$V_p$ (km/h)	$m$ (km/h)	$V_i$ (km/h)	$V_o$ (km/h)
50	40	50	15	35	40
60	50	60	15	45	50
70	60	70	15	55	60
80	70	80	15	65	70
90	80	90	15	75	80
100	90	100	15	85	90
110	100	110	15	95	100

**Tableau 4: Vitesses proposées pour l'analyse du dépassement.**

#### Vitesse minimale après l'abandon du dépassement

En travaillant avec des modèles cinématiques, on se rend compte que la vitesse après l'abandon peut devenir très faible, voire, selon les calculs, négative comme le constate aussi Baraket (1993) ce qui est bien sûr inacceptable et peu réaliste.

En effet, ceci peut causer des accidents sauf aux débits très faibles si le conducteur ayant abandonné le dépassement essaie de se réinsérer dans une file derrière le véhicule  $i$ . On sait que non seulement dans le cas du modèle cinématique mais également dans la réalité, des cas critiques peuvent se produire si un véhicule qui a tenté un dépassement à partir d'un peloton qui s'est formé derrière le véhicule lent, abandonne son dépassement et essaie de réintégrer sa place dans la file, forçant les autres conducteurs à freiner fortement et brusquement pour éviter des collisions.

Il est donc raisonnable pour des fins de modélisation et de conception des routes de limiter la vitesse à la fin de l'abandon pour ne pas imposer des conditions inadmissibles et dangereuses aux conducteurs. La vitesse finale après l'abandon aura une certaine valeur selon la formule:

$$v_{\text{pfin}} = v_i - \alpha \cdot m$$

Le paramètre  $\alpha$  a été choisi comme étant égal à 1 par Rillet (1990) et par Krummins (1985).

Même si l'imposition d'une vitesse limite semble artificielle à certains chercheurs, elle simule un comportement souhaitable. Ceci allongera bien sûr les distances de dépassement nécessaires.

Lors d'une première rencontre avec le comité de suivi du projet, il a été décidé d'incorporer ce comportement souhaitable du conducteur dans le modèle à développer. Comme le précisent Rillet et d'autres chercheurs, ces conditions particulières augmentent considérablement la complexité du modèle et de sa solution.

Cependant, il faut mentionner qu'avec l'approche proposée dans le présent rapport pour modéliser la manœuvre du dépassement, des conditions et contraintes supplémentaires peuvent facilement être incorporées dans le modèle.

### **3.4.2. Les espacements et les écarts**

#### **3.4.2.1. Espacement au début du dépassement**

Certains auteurs mesurent les créneaux en temps, donc en fonction de la vitesse, d'autres utilisent des distances fixes et indépendantes de la vitesse.

Comme Coquand (1962) l'a remarqué, les espacements lors du dépassement sont sensiblement différents des espacements normalement trouvés pour une circulation en convoi. "En effet, le comportement du conducteur qui s'apprête à dépasser une voiture (ou qui vient de la dépasser) est différent de celui du conducteur qui suit très longtemps une longue file de véhicules: dans le premier cas son attention est concentrée, il s'approche au maximum avant de dépasser, et peut se rabattre à distance réduite devant la voiture qu'il vient de doubler, puisqu'il avance plus vite qu'elle. Il est donc plausible d'adopter un espacement de  $d = 0,75/3,6 + 8$  (m)."

Coquand utilise donc un créneau temps de 0,75 secondes, tandis que Glennon, Hassan (1996) et d'autres utilisent des créneaux temps d'une seconde. Lieberman utilise un écart de 1,5 secondes et Rillet varie ses créneaux entre 0,5 et 1,5 secondes tout en constatant que cette variable a une grande influence sur la distance de visibilité.

Prisk (1941) trouve que le créneau espace avant le dépassement est plus petit que celui après et propose une valeur médiane de 12 m (avec une valeur du 85<sup>iem</sup> centile de 21 m) et ceci indépendamment des vitesses.

Troutbeck (1981) observe des créneaux espace au début du dépassement entre 11m ( à 60 km/h) et 16 m ( à 85 km/h). Le créneau d'un dépassement lancé est de 25 m.

Grabe et Stolz (1968) rapportent un créneau espace moyen au début de la manœuvre entre 7,5m (à 50 km/h) et de 8,6 m (à 90 km/h). Good et al. (1993) enfin utilisent un créneau espace d'un minimum de 4,5m et d'un maximum de 13,4 m avec une valeur probable de 9m.

Le Tableau 5 a été préparé en uniformisant les notations. Ce tableau et les tableaux suivants montrent les créneaux espace. La longueur du véhicule n'intervient donc pas, ce qui facilite les comparaisons.

	Créneau espace				
	Médiane	Moyenne	85%	Min	Max
Prisk (1941)	12		21		
Troutbeck (1982)		$0,2V+1$	$0,3V+2$		
Grabe & Stolz (1968)		$0,0275V+ 6,125$			
Glennon, Hassan		$V/3,6$			
Lieberman (1982)		$1,5V/3,6 - L_i$			
Good et al (1993)		9		4,5	13,4
Walbaum (1998)		31		13	50
Krummins (1985)		$0,162V+10,7$			
Coquand (1962)		$0,5V/3,6$ à $V/3,6$			
Dépassement lancé	25				

**Tableau 5: Formules pour les créneaux espace au début du dépassement.**

Le Tableau 6 a été développé à partir de ces formules.

V <sub>c</sub> (km/h)	V <sub>i</sub>	V <sub>p</sub>	Prisk 85%	Troutbeck (1982)		Grabe Moyenne	Glennon Moyenne	Lieberman Moyenne	Good et al. Moyenne	Walbaum Moyenne	Krummins	Coquand	Moyenne
				Moyenne	85%								
50	35	50	21	8	12,5	7,1	9,7	9,6	9	31	16,4	7,3	12,3
60	45	60	21	10	15,5	7,4	12,5	13,8	9	31	18	9,4	13,9
70	55	70	21	12	18,5	7,6	15,3	17,9	9	31	19,6	11,5	15,5
80	65	80	21	14	21,5	7,9	18,1	22,1	9	31	21,2	13,5	17,1
90	75	90	21	16	24,5	8,2	20,8	26,3	9	31	22,9	15,6	18,7
100	85	100	21	18	27,5	8,5	23,6	30,4	9	31	24,5	17,7	20,3
110	95	110	21	20	30,5	8,7	26,4	34,6	9	31	26,1	19,8	21,9

**Tableau 6: Créneaux espace adoptés par le conducteur dépassant au début du dépassement.**

En analysant le tableau, deux points sont à remarquer: premièrement, il semble logique de conserver une relation entre le créneau espace et la vitesse, relation qui a été encore récemment confirmée par les observations de Troutbeck. Deuxièmement, il semble également que la valeur d'une seconde tel que proposé par Glennon et d'autres soit la valeur la plus proche de la moyenne de toutes les valeurs trouvées dans la documentation. Il est donc proposé d'utiliser la relation suivante pour l'espacement au début du dépassement:

$$g_1 = L_i + v_i \cdot h_1 \quad h_1 = 1(s)$$

On utilise  $v_i$  au lieu de  $v_p$ , car dans le cas d'un dépassement avec attente ces vitesses sont les mêmes au début du dépassement.

#### 3.4.2.2. L'espacement entre les véhicules p et i à la fin du dépassement complété

Prisk (1941) trouve que ce créneau est plus grand que celui au début du dépassement, c'est à dire que le créneau médian serait de 20 mètres, tandis que Transport Canada (ADI, 1989) trouve un créneau acceptable entre les deux véhicules de 4,6 m à 80 km/h ce qui reviendrait à un temps de 0,2 secondes, temps qui semble très court et équivalent à une "queue de poisson". Ces faibles valeurs correspondent certainement à une situation d'urgence où le conducteur dépassant se rabat aussi rapidement que possible pour éviter la voiture opposée. Cette situation représente un fonctionnement non souhaitable surtout pour les besoins de conception routière.

Le Tableau 7 résume les valeurs pour le paramètre créneau espace à la fin du dépassement qui ont été relevées dans la documentation.

Vitesse (km/h)	Vi	Vp	Troutbeck (1982)		Glennon Moyenne	Lieberman Moyenne	Good et al. Moyenne	Walbaum Moyenne	Krummins	Coquand	Moyenne
			Moyenne	85%							
50	35	50	32,1	44	9,7	9,6	4,5	23	16,4	7,3	14,7
60	45	60	33,6	46	12,5	13,8	4,5	23	18	9,4	16,4
70	55	70	35,1	48	15,3	17,9	4,5	23	19,6	11,5	18,1
80	65	80	36,6	50	18,1	22,1	4,5	23	21,2	13,5	19,9
90	75	90	38,1	52	20,8	26,3	4,5	23	22,9	15,6	21,6
100	85	100	39,6	54	23,6	30,4	4,5	23	24,5	17,7	23,3
110	95	110	41,1	56	26,4	34,6	4,5	23	26,1	19,8	25,1

**Tableau 7: Créneaux espace  $g_2$  à la fin du dépassement complété.**

On voit que les distances observées par Troutbeck sont généralement plus grandes que la moyenne de toutes les observations. Néanmoins, pour les fins de la conception des routes, on peut se baser sur un comportement un peu plus serré et adopter des valeurs qui correspondent à peu près à la moyenne de toutes les valeurs relevées dans la documentation. Il est donc proposé d'utiliser un créneau temps d'environ 1 seconde.

$$g_2 = L_p + v_i \cdot h_2 \quad h_2 = 1(s)$$

#### 3.4.2.3. L'espacement à la fin de la manœuvre abandonnée $g_3$

On a fait relativement peu d'études sur ce sujet. Il semble toutefois que ce créneau puisse être plus faible que  $h_1$  et  $h_2$  étant donné que la vitesse du véhicule I est supérieure à celle du véhicule P se rabattant.

Lieberman (1982) utilise un écart de 1,5 secondes, tandis que les autres chercheurs utilisent en général la même valeur que celle utilisée pour le dépassement complété.

Ces distances semblent relativement grandes, compte tenu de la situation. Le Tableau 8 permet de comparer ces valeurs.

V <sub>c</sub> (km/h)	V <sub>i</sub>	V <sub>p</sub>	v <sub>pfin</sub>	Lieberman	Glennon 1s	0,75 s
50	35	50	20	3,3	5,6	4,2
60	45	60	30	7,5	8,3	6,3
70	55	70	40	11,7	11,1	8,3
80	65	80	50	15,8	13,9	10,4
90	75	90	60	20,0	16,7	12,5
100	85	100	70	24,2	19,4	14,6
110	95	110	80	28,3	22,2	16,7

**Tableau 8: Valeurs pour le créneau espace  $g_3$  à la fin de la manœuvre abandonnée.**

Il est donc proposé d'utiliser un créneau temps de 0,75 secondes dans le cas du modèle 1c proposé. Dans les autres modèles, où la vitesse finale n'est pas définie au préalable, il est proposé d'utiliser un créneau espace constant de 10 m, ce qui représente la moyenne des créneaux à 0,75 secondes sur la gamme des vitesses étudiées.

$$g_3 = L_i + v_{pfin} \cdot h_3 \quad h_3 = 0,75 \text{ (s)}$$

#### 3.4.2.4. L'espace de sécurité entre le véhicule dépassant et le véhicule opposé

L'AASHTO (1994) se base sur des observations qui peuvent être représentées par le modèle suivant ( $R^2 = 0,99998$ ):

$$d_3 = -0.01427 \cdot V_p^2 + 3.60083 \cdot V_p - 127.24498 \text{ (m)}$$

Ces valeurs sont relativement grandes, compte tenu du fait qu'il s'agit ici du moment où le véhicule dépassant a pleinement regagné sa voie. Glennon utilise 1 seconde de séparation entre les pare-chocs avant des véhicules opposés. Certains auteurs (par exemple Van Valkenburg (1971)) trouvent qu'une distance de 6,1 mètres serait suffisante, mais cette valeur semble très faible et correspond plutôt à un fonctionnement du type urgence, valeur qui serait en effet

acceptable si on suppose que le véhicule dépassant se rabat un peu plus rapidement dans sa voie sans toutefois faire une queue de poisson au véhicule dépassé.

Le Tableau 9 permet de comparer les différentes valeurs.

$V_c$ (km/h)	$V_i$ (km/h)	$V_p$ (km/h)	$V_{pfin}$	$V_{affichée}$ $V_{opposée}$	AASHTO d3 1994	Good et al Moyenne	C2 $h_o=1$	C3 $h_o=1$
50	35	50	20	40	17,1	55	25	16,7
60	45	60	30	50	37,4	55	30,6	22,2
70	55	70	40	60	54,9	55	36,1	27,8
80	65	80	50	70	69,5	55	41,7	33,3
90	75	90	60	80	81,2	55	47,2	38,9
100	85	100	70	90	90,1	55	52,8	44,4
110	95	110	80	100	96,2	55	58,3	50,0

**Tableau 9: Distances  $C_2$  et  $C_3$  entre les véhicules opposés à la fin du dépassement.**

Dans les modèles de dépassement, il est donc proposé d'utiliser les équations suivantes pour  $C_2$  et  $C_3$ .

$$C_2 = (v_p + v_o) \cdot h_o \quad h_o = 1 (s)$$

Dans la documentation, il n'y a aucune indication quant à la distance à garder entre le véhicule qui a abandonné le dépassement et le véhicule venant dans le sens opposé. Il est proposé d'utiliser la même valeur pour le créneau temps  $h_o$ .

$$C_3 = (v_{pfin} + v_o) \cdot h_o \quad h_o = 1 (s)$$

### 3.5. TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PARAMÈTRES ET DE LEURS VALEURS PROPOSÉES

#### Le conducteur

- temps de perception – réaction  $t_1 = 1$  (s)
- temps de perception - réaction  $t_2 = 1,5$  (s)
- l'accélération  $a = 1,5738 * \exp(-0,007976V_p)$  (m/s<sup>2</sup>)
- la décélération  $d = 3$  (m/s<sup>2</sup>)

#### Le véhicule

- longueur (véhicule P)  $L_i = L_p = 5,6$  (m)
- largeur (véhicule P)  $W_i = W_p = 2,0$  (m)
- longueur (véhicule camion)  $L_i = 12, 21$  et  $25$  (m)
- largeur (véhicule camion)  $W_i = 2,6$  (m)

#### La route

- la largeur des voies  $L_{voie} = 3,5$  (m)

#### La circulation

- Vitesse de conception  $V_c = 50$  à  $110$  (km/h)
- Vitesse affichée  $V_{affichée} = V_c - 10$  (km/h)
- Vitesse véhicule p  $V_p = V_c$  (km/h)
- Vitesse véhicule i  $V_i = V_p - 15$  (km/h)
- Vitesse véhicule o  $V_o = V_c - 10$  (km/h)
- Différence de vitesse  $m = V_p - V_i$  (km/h)
- Vitesse finale abandon  $V_{pfin} = V_i - \alpha m$  (km/h)
- Constante  $\alpha$   $\alpha = 1$
- Espacement au début  $g_1 = L_i + v_i h_1$  (m) ;  $h_1 = 1$  (s)
- Espacement à la fin (complété)  $g_2 = L_p + v_i h_2$  (m) ;  $h_2 = 1$  (s)
- Espacement à la fin (abandon)  $g_3 = L_i + v_{pfin} h_3$  (m) ;  $h_3 = 0,75$  (s)
- Espacement opposé (complété)  $C_2 = (v_p + v_o) h_o$  (m) ;  $h_o = 1$  (s)
- Espacement opposé (abandon)  $C_3 = (v_{pfin} + v_o) h_o$  (m) ;  $h_o = 1$  (s)

## 4. LA MODÉLISATION

### 4.1. INTRODUCTION

Le modèle choisi devrait répondre aux buts de l'étude, qui est d'étudier la signalisation horizontale utilisée pour indiquer les débuts et fins de zones de dépassement et étudier l'impact de la présence des camions sur cette signalisation. Selon Good et al (1991) un tel modèle devrait être choisi selon un ensemble de critères que voici:

- Intégration entre les besoins de la conception des routes et la signalisation;
- Paramétrisation du modèle;
- Réalisme;
- Facilité d'utilisation;
- Structure du modèle accepté par la communauté scientifique.

Différents modèles ont été développés dans les 10 dernières années. Ces modèles sont tous basés sur l'approche proposée par Lieberman et Glennon et ces modèles ont été revus dans le rapport de recherche effectué par Baass (1996). Depuis la publication de ce rapport quelques nouveaux travaux de recherche ont été publiés qui n'apportent cependant pas de modification fondamentale à l'approche. Il a donc été décidé de baser le développement du modèle sur les principes de la cinématique, principes qui sont également à la base des modèles cités ci-haut.

#### a) L'intégration entre les besoins de la conception géométrique et la signalisation

Il a souvent été mentionné que les normes actuelles de visibilité de dépassement utilisées en conception routière ne correspondent pas à celles utilisées en marquage des routes. Baass (1996) explique l'origine de cet état de choses et insiste également sur le fait qu'un seul et unique modèle mathématique devrait être développé dont l'approche permet de dériver les distances de visibilité aussi bien pour la conception routière que pour le marquage. Le modèle cinématique proposé dans la présente étude permet de décomposer le dépassement en différentes étapes fondamentales dont les temps et longueurs servent ensuite à déterminer les distances de visibilité pour les deux besoins.

b) Le niveau de généralisation

Le mouvement de dépassement devrait être décomposé dans ses étapes fondamentales et toutes les variables qui entrent dans le modèle devraient être paramétrisées, de manière à pouvoir facilement changer les hypothèses sur les éléments de base tels que le conducteur, le véhicule, la route et la circulation environnante. Une bonne généralisation permettra alors une analyse de sensibilité des différentes variables et notamment d'étudier l'influence de la longueur du véhicule dépassé sur la distance de visibilité et sur le marquage. Lors de la préparation du modèle proposé, l'auteur a fait particulièrement attention à ce point. Les valeurs de toutes les variables peuvent être introduites dans le modèle; il n'y a aucune valeur incorporée par "défaut" dans le modèle.

c) Réalisme

Le modèle devrait représenter les différentes étapes de la manœuvre aussi fidèlement que possible. Les modèles cinématiques permettent de modéliser assez bien les différentes étapes. Il y a cependant parmi les chercheurs des controverses quant à certaines parties de la manœuvre et à la manière de les représenter. Un exemple en sont les espacements entre les véhicules aux différents moments de la manœuvre. Par l'approche modulaire du modèle, il est aisé de changer certains éléments du modèle pour rendre celui-ci plus réaliste si cela s'avère nécessaire plus tard ou lorsqu'on a acquis de nouvelles connaissances.

Les modèles cinématiques trouvés dans la documentation donnent des résultats réalistes sauf dans certains cas particuliers. Par exemple, le modèle de Lieberman et de Glennon donnent des vitesses très faibles (voire négatives, ce qui n'est pas réaliste) lors de l'abandon. Ceci peut être corrigé (et en effet Rillet l'a fait) en ajoutant certaines contraintes au modèle.

Le réalisme des résultats du modèle ne peut se vérifier que sur les lieux par des observations. Cependant, nous pouvons dire que nous possédons aujourd'hui assez d'expérience et de résultats d'études aussi bien théoriques qu'expérimentales pour pouvoir juger si les résultats obtenus par le modèle sont raisonnables ou non. On peut donc "calibrer" le modèle à l'aide des observations rapportées dans la documentation.

#### d) Facilité d'utilisation

Le modèle ne devrait pas être complexe au point qu'il ne deviendrait accessible qu'à quelques spécialistes et l'effort nécessaire pour le développement des équations à sa base devrait être raisonnable. Il est vrai que la formulation mathématique n'est pas simple. Même si on se base sur des équations bien connues et relativement simples de la cinématique (donc sur la description mathématique des mouvements des véhicules impliqués) on aboutit à des équations si complexes que leur résolution devient presque impossible analytiquement. C'est de là que vient le souci souvent exprimé de la facilité d'utilisation. Dans ce chapitre, nous allons exposer une façon différente de modéliser le problème du dépassement, qui permet d'introduire n'importe quelle complication dans les mouvements des véhicules et qui reste pourtant facilement compréhensible pour celui qui a des connaissances de base en cinématique. Il faut mentionner que cette approche donne exactement les mêmes résultats que les modèles trouvés dans la documentation, mais à un moindre effort.

Le modèle proposé est résolu dans un tableur, ce qui garantit une utilisation facile.

#### e) Acceptation du modèle par la communauté scientifique

La structure du modèle proposé devrait être reconnue comme "valable" par la communauté scientifique puisque ses principes sont documentés dans la littérature. Les valeurs des paramètres devraient également être "raisonnables" et provenir de la documentation scientifique ou d'observations basées sur des études sérieuses statistiquement significatives. Quant à la structure du modèle proposé, elle correspond à celle des modèles de Lieberman, Glennon, Rillet, Hassan etc. et les valeurs des variables ont été choisies en prenant grand soin de se baser sur des études acceptées par la communauté scientifique.

## 4.2. LE PRINCIPE DE LA MODÉLISATION

Les modèles qui décrivent la manœuvre de dépassement sont généralement basés sur les lois de la cinématique, c'est à dire sur la partie de la mécanique physique qui étudie les mouvements. Les éléments dont nous allons nous servir sont relativement simples:

- mouvements à vitesse constante:

$$x = x_0 + v \cdot t$$

où:  $x$  = position du véhicule par rapport à un endroit 0 (m).  
 $x_0$  = position initiale

- mouvements accélérés, sous l'hypothèse d'une accélération constante moyenne:

$$x = x_0 + v \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad \text{et} \quad x = x_0 + \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a}$$

où:  $a$  = accélération moyenne constante (m/s<sup>2</sup>)

- mouvements décélérés, sous l'hypothèse d'une décélération constante moyenne:

$$x = x_0 + v \cdot t - \frac{1}{2} \cdot d \cdot t^2 \quad \text{et} \quad x = x_0 + \frac{v_i^2 - v_f^2}{2d}$$

En effet, la manœuvre de dépassement peut se décomposer en étapes où le conducteur accélère, roule à vitesse constante ou décélère.

Un outil important de la modélisation est le diagramme espace-temps, diagramme ayant l'espace en ordonnée et le temps en abscisse. Dans ce diagramme, la pente en un point d'une ligne donnée décrit la vitesse en ce point. En effet, pour une courte distance  $\Delta x$  parcourue, on a un court laps de temps  $\Delta t$ . La pente se calcule par la tangente de l'angle donc par  $\Delta x / \Delta t$  ce qui est la définition d'une vitesse. Une ligne droite démontre donc une vitesse constante et une ligne

concave (incurvée vers le haut) une accélération, tandis qu'une ligne convexe indique une décélération.

Le principe de la modélisation est démontré à l'aide du cas le plus simple du dépassement, à savoir le dépassement lancé. Le principe de modélisation montré ici diffère de celui utilisé dans la documentation, surtout en ce qui a trait à la manière de résoudre les équations et à présenter la problématique. Cette approche a différents avantages, entre autres celui de rendre la compréhension des problèmes sous-jacents plus faciles et de simplifier les équations présentées.

#### 4.2.1. Description de la manœuvre de dépassement

Idéalement, lorsqu'on conçoit la géométrie d'une route, on devrait prévoir une distance de visibilité suffisante pour que le conducteur qui veut dépasser puisse amorcer et achever sa manœuvre en toute sécurité. Ceci permet au conducteur décidé à dépasser de pouvoir voir une voiture qui apparaît dans la voie opposée tout juste au moment où il commence son dépassement, accélérer jusqu'à la vitesse légalement acceptable, continuer et finir son dépassement à vitesse constante (et cette distance devrait être suffisante pour qu'il puisse juger si la voiture opposée n'est pas trop proche pour qu'il puisse finir complètement son dépassement). Pendant ce temps, le véhicule opposé continue, lui aussi, à vitesse constante et quand les deux voitures se rencontrent (chacune dans sa voie) il reste encore une distance de sécurité entre les deux, même si elles sont séparées latéralement, car chacune des voitures est bien au milieu de sa voie. Dans ce rapport, cette distance est appelée la visibilité au moment  $t_0$ .

Les distances nécessaires pour satisfaire ces conditions sont longues et proches de 950 mètres à 100 km/h. Cette distance est trop grande pour estimer efficacement des vitesses et des distances (il est reconnu qu'au-delà de 600 mètres ces capacités se perdent). En pratique, le conducteur amorce son dépassement, même s'il a des distances de visibilité inférieures à cette distance totale et abandonne la manœuvre s'il se rend compte qu'il ne peut pas la terminer en sécurité.

On conçoit donc souvent la route en tenant compte de ce cas d'abandon. Cette hypothèse a également été faite par l'AASHTO. Ainsi, les distances publiées par l'AASHTO (1994) **ne sont**

**pas** les distances totales dont on a parlé plus haut. La signification de ces distances sera donnée plus loin une fois les principes de la manœuvre de dépassement clairement expliqués dans ses différentes étapes.

Dans le cas où on ne prévoirait pas la distance totale de dépassement telle que définie ci-haut, le conducteur n'a pas la distance de visibilité pour commencer et finir le dépassement, mais il a assez de distance de visibilité pour abandonner le dépassement lorsqu'il voit apparaître le véhicule dans la voie opposée.

Au fur et à mesure qu'il avance dans la manœuvre de dépassement, la distance de visibilité nécessaire pour terminer le dépassement diminue. Si on accepte la possibilité d'abandon, il n'est pas nécessaire de prévoir la distance de visibilité totale au point zéro du dépassement, mais une distance moindre qui sera définie dans ce qui suit.

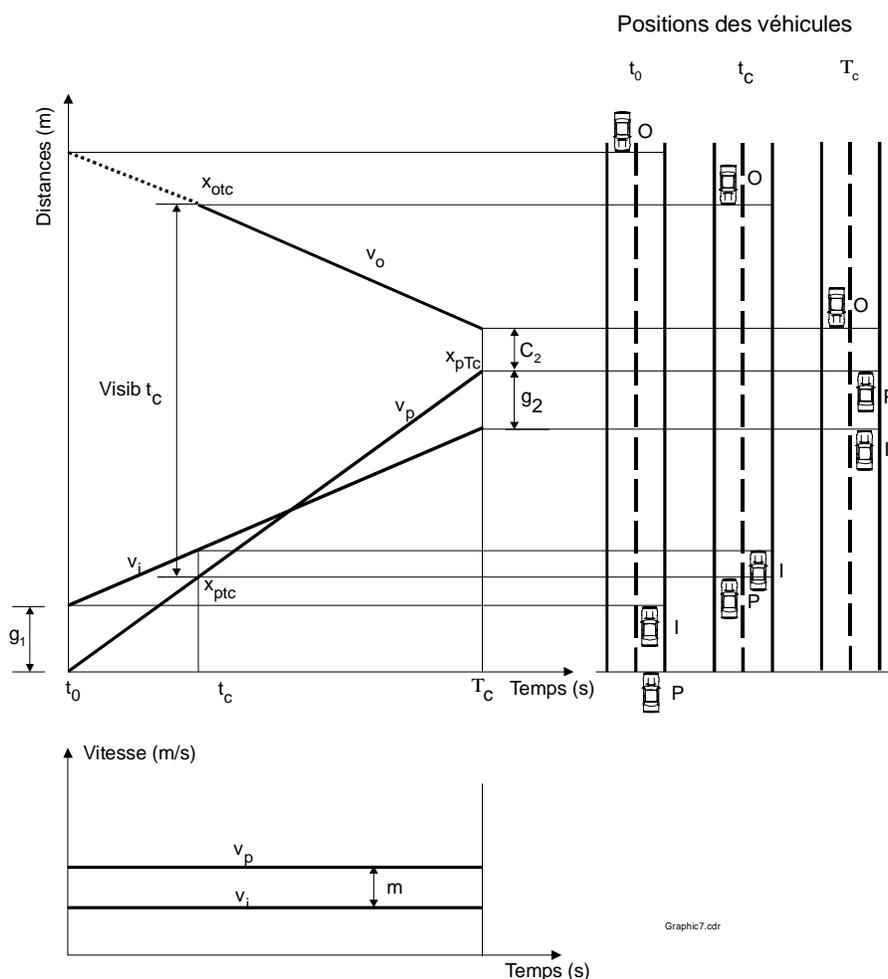
Trois cas doivent donc être étudiés:

- Le conducteur a assez de distance de visibilité pour compléter son dépassement et ceci pendant toute la manœuvre de dépassement ;
- Le conducteur a assez de distance de visibilité pour abandonner son dépassement et ceci pendant toute la manœuvre de dépassement;
- Le conducteur a toujours assez de distance de visibilité soit pour terminer, soit pour abandonner le dépassement selon ce qui est plus court.

### 4.2.2. Le dépassement complété

Le principe sera expliqué à l'aide d'un dépassement lancé, c'est à dire un dépassement où le véhicule dépassant roule à la vitesse  $v_p$  et le véhicule lent à la vitesse  $v_i = v_p - m$ . Le choix de ce cas a été fait parce que la formulation mathématique est la plus simple et illustre aussi bien que tout autre cas les principes proposés. Le véhicule rapide commence son dépassement quand il est à une distance  $g_1$  derrière le véhicule lent.

La Figure 11 illustre le diagramme espace-temps qui permet de bien décrire le développement des formules.



**Figure 11: Diagramme espace temps du cas 3, dépassement lancé pour illustrer le principe de la modélisation.**

Le diagramme espace-temps montre les deux véhicules roulant à vitesses constantes (deux lignes droites se croisant au moment où les pare-chocs des véhicules P et I sont à la même hauteur), car il s'agit d'un dépassement lancé. On y aperçoit aussi la ligne droite venant d'en haut à gauche qui représente l'évolution dans le temps et dans l'espace du véhicule roulant dans la voie de gauche et dans le sens opposé. Sur le côté droit de la figure, on voit trois vues en plan de la route. Ces sections pourraient représenter des photographies aériennes de la route prises au moment  $t_0$  (au début du dépassement et O est encore invisible, caché par exemple par une courbe verticale) au moment  $t_c$  (c'est à dire au moment où on aperçoit le véhicule venant dans la voie opposée) et au moment  $T_c$  (au moment où le dépassement est fini et où le véhicule P a de nouveau complètement réintégré sa voie). La figure est complétée par un diagramme vitesse - temps qui montre que les vitesses restent constantes sur tout le temps du dépassement. À l'aide des informations données sur le graphique, nous pouvons calculer la distance  $x_{pT_c}$  au moment  $T_c$ , c'est-à-dire au moment où le dépassement est complété. Cette distance peut être obtenue de deux façons, premièrement par le véhicule P et deuxièmement par le véhicule I, en se servant des espacements entre les véhicules au début et à la fin du dépassement.

- pour le véhicule P:

$$x_{pT_c} = v_p \cdot T_c$$

- pour le véhicule I:

$$x_{pT_c} = g_1 + v_i \cdot T_c + g_2$$

On a donc deux équations pour  $x_{pT_c}$ . et:

$$v_p \cdot T_c = g_1 + v_i \cdot T_c + g_2$$

ce qui donne comme temps de dépassement  $T_c$  :

$$T_c = \frac{g_1 + g_2}{v_p - v_i} = \frac{g_1 + g_2}{m}$$

et avec les équations pour  $g_1$  et  $g_2$ , nous obtenons:

$$g_1 = L_i + v_i \cdot h_1 \quad \text{et} \quad g_2 = L_p + v_i \cdot h_2$$

$$T_c = \frac{L_p + L_i + (v_p - m)(h_1 + h_2)}{m}$$

Cette équation montre que lorsque  $v_p$  augmente, le temps de dépassement augmente aussi pour une différence de vitesses  $m$  donnée. On voit aussi que le temps de dépassement dépend de la longueur des véhicules. On constate que le temps total nécessaire pour le dépassement ne dépend pas du moment  $t_c$  où on voit apparaître le véhicule opposé venant dans la voie de gauche et que le temps de dépassement diminue lorsque  $m$  augmente.

On peut calculer la distance de visibilité nécessaire entre le véhicule P et un véhicule O apparaissant tout juste au moment  $t_c$  de la façon présentée ci-dessous. Au moment  $t_c$ , le véhicule P est à l'endroit  $x_{ptc}$  et le véhicule O est à  $x_{otc}$ . La distance de visibilité nécessaire au moment  $t_c$  est donc:

$$VISIB_{t_c} = x_{otc} - x_{ptc}$$

La position  $x_{ptc}$  du véhicule P se calcule:

$$x_{ptc} = v_p \cdot t_c$$

La position  $x_{otc}$  du véhicule O s'obtient en passant par les trajectoires du véhicule P et du véhicule O:

$$x_{otc} = x_{pTc} + C_2 + v_o \cdot (T_c - t_c)$$

$$\text{et avec: } C_2 = (v_o + v_p) \cdot h_o$$

$$VISIB_{t_c} = (v_p + v_o) \cdot (T_c - t_c) + C_2 = (v_o + v_p)(T_c - t_c + h_o)$$

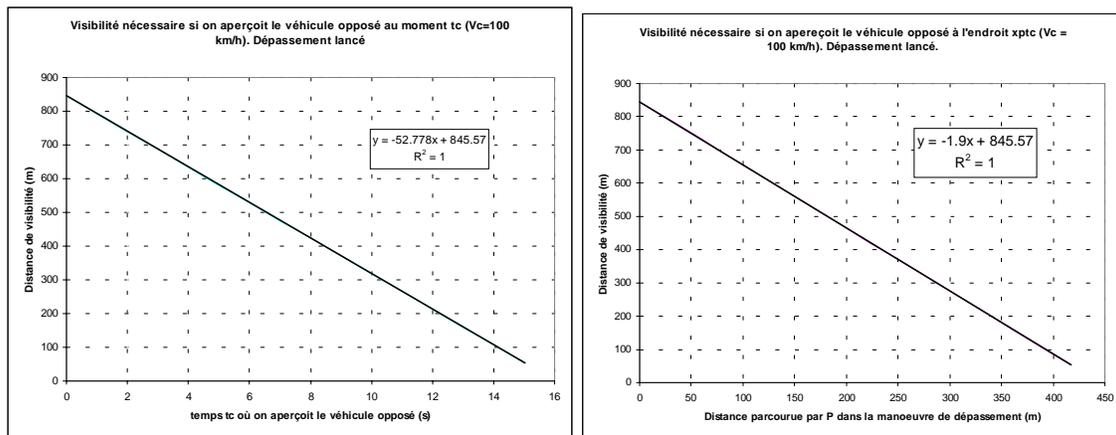
La distance de visibilité nécessaire à chaque moment  $t_c$  pendant la manœuvre de dépassement dépend bien sûr de ce moment  $t_c$ . On constate aussi que la relation entre la distance de visibilité et le moment  $t_c$  où le véhicule opposé apparaît est une relation linéaire décroissante dont la pente est égale à la somme des vitesses des deux véhicules P et O. Pour chaque seconde où l'on avance dans la manœuvre de dépassement, on a besoin de  $(v_p + v_o)$  mètres de moins de visibilité. La formule nous montre aussi que:

Si  $t_c = 0$  alors: 
$$VISIB_{t_0} = (v_p + v_o) \cdot T_c + C_2$$

Si  $t_c = T_c$  alors 
$$VISIB_{T_c} = C_2$$

La visibilité nécessaire varie donc entre une valeur maximale au moment  $t_0$  et un minimum égal à  $C_2$  à la fin du dépassement complété.

Cette relation est illustrée à la Figure 12, à gauche en fonction du temps passé dans le dépassement et à droite en fonction de la distance parcourue pendant le dépassement.



**Figure 12: Relation entre la visibilité nécessaire et le moment et l'endroit où on aperçoit le véhicule venant dans la voie de gauche.**

Si on veut garantir un dépassement sans abandon et en sécurité du début jusqu'à la fin du dépassement, la visibilité nécessaire serait de 845 mètres et ceci pour le dépassement lancé à une

vitesse de conception de 100 km/h et en utilisant l'ensemble des valeurs décrites dans le chapitre précédent.

$$VISIB_{t_0} = (v_p + v_o) \cdot T_c + C_2 = 845 \text{ (m)}$$

Cette distance est plus grande que celle proposée par l'AASHTO, mais il faut ajouter d'ores et déjà que la valeur de l'AASHTO ne donne pas une distance de visibilité suffisante pour compléter le dépassement au moment  $t_0$ . La distance de visibilité au moment  $t_0$  est celle que le guide australien (Austroads, 1993) appelle "establishment sight distance". C'est d'ailleurs la seule norme qui a introduit la distance de visibilité au moment  $t_0$  comme distance idéale pour la conception géométrique. (Ces résultats sont d'ailleurs basés sur les travaux de recherche de Troutbeck (1981) qui a effectué une analyse très détaillée de la manœuvre de dépassement). Les relations avec les valeurs de l'AASHTO et avec celles proposées dans cette recherche vont être données plus loin.

Supposons que la distance totale au moment  $t_0$  n'est pas disponible et que le véhicule opposé soit caché au conducteur dépassant pendant un certain temps (correspondant à la trajectoire pointillée de la Figure 11). Si le conducteur aperçoit le véhicule O à l'endroit  $x_{otc}$  (ou plus loin) au moment  $t_c$ , les deux véhicules peuvent continuer sans problèmes et le dépassement peut être fini selon les hypothèses. Si le véhicule opposé est trop proche au moment  $t_c$  le conducteur dépassant a trois choix:

- abandonner le dépassement, si ce n'est pas trop tard;
- gagner les abords de la route à gauche des voies de circulation;
- risquer un accident de collision frontale avec le véhicule opposé.

Il est donc nécessaire d'étudier la possibilité d'abandonner la manœuvre de dépassement à chaque moment  $t_c$  si on ne veut (ou ne peut) pas fournir au conducteur la distance de visibilité totale au moment  $t_0$ .

### 4.2.3. L'abandon de la manœuvre de dépassement

L'abandon est plus complexe et plus difficile à décrire, et ceci même pour le cas le plus simple, c'est à dire pour le dépassement lancé.

Le conducteur aperçoit le véhicule venant en sens opposé au moment  $t_a$  (on utilise ici l'indice a au lieu de c pour indiquer l'abandon). Un temps de perception et de réaction  $t_2$  est requis pour décider si oui ou non on continue le dépassement. Si le conducteur trouve que le véhicule opposé est trop proche pour finir le dépassement, il abandonne le dépassement, réduit sa vitesse en freinant au taux de décélération  $d$  et se range derrière le véhicule I tout en gardant un espacement  $g_3$  avec celui-ci. Pendant la décélération, la vitesse du véhicule sera tombée à  $v_{pfin}$ .

Cette manœuvre est illustrée à la Figure 13.

La durée totale de la manœuvre d'abandon  $T_a$  dépend du moment  $t_a$  où le conducteur a décidé d'abandonner le dépassement. Au début, lorsque le conducteur dépassant n'est pas encore avancé très loin par rapport au véhicule à dépasser, le temps nécessaire pour réintégrer sa voie est court. La distance et le temps nécessaires pour regagner sa voie seront augmentés lorsque le conducteur est déjà avancé dans son dépassement.

Comme dans le cas du dépassement complété nous pouvons écrire la distance parcourue  $x_{pTa}$  de deux façons:

- pour le véhicule P 
$$: x_{pTa} = v_p \cdot T_a - \frac{1}{2}d \cdot (T_a - t_a - t_2)^2$$

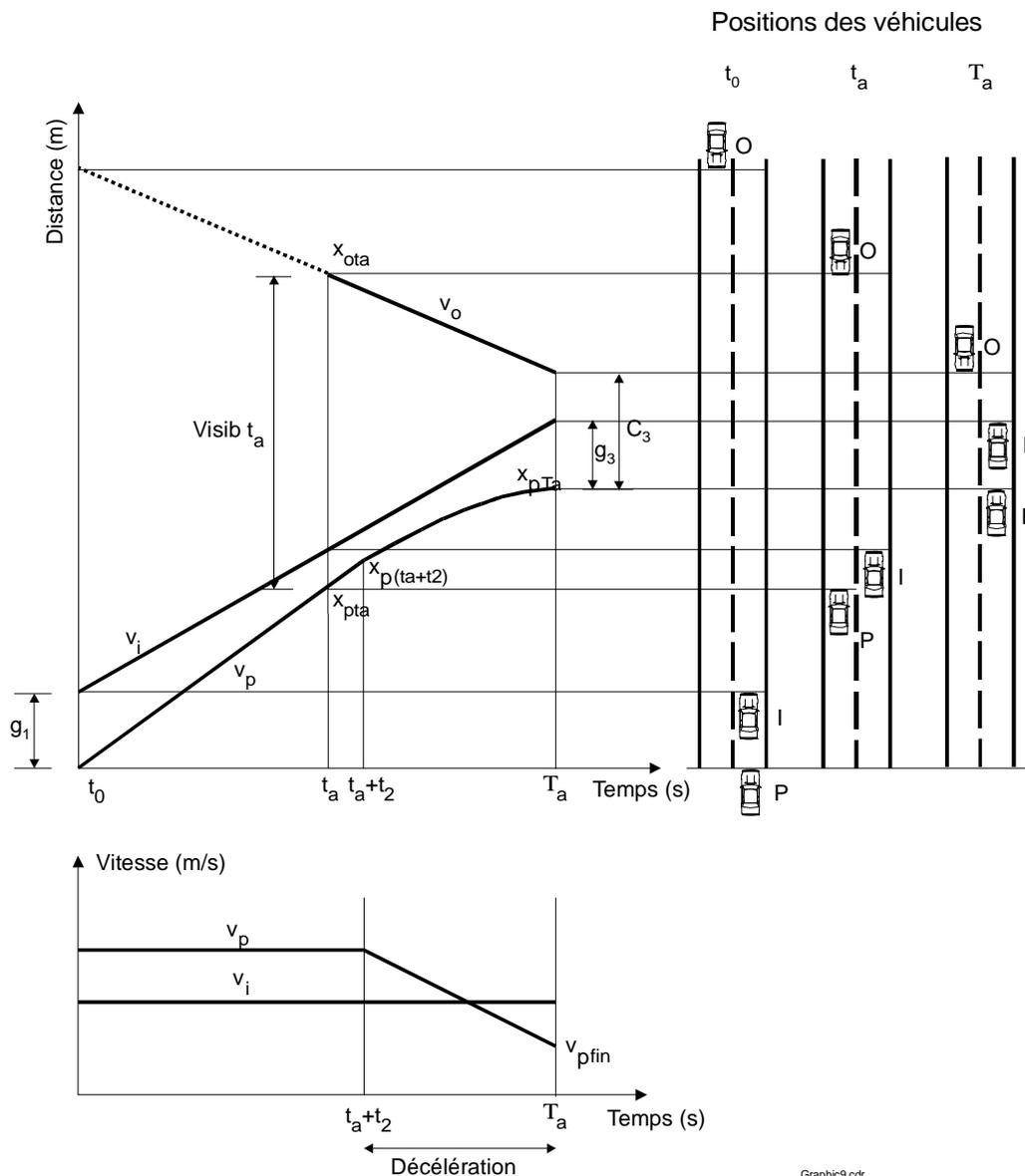
- pour le véhicule I: 
$$x_{pTa} = g_1 + v_i \cdot T_a - g_3$$

On a donc deux équations pour  $x_{pTa}$ . et:

$$v_p \cdot T_a - \frac{1}{2}d \cdot (T_a - t_a - t_2)^2 = g_1 + v_i \cdot T_a - g_3$$

ce qui donne pour

$$T_a = \frac{m}{d} + (t_a + t_2) + \sqrt{\left(\frac{m}{d} + t_a + t_2\right)^2 + \frac{2(g_3 - g_1)}{d} - (t_a + t_2)^2}$$



**Figure 13: Diagramme espace-temps du cas 3, dépassement lancé. Abandon de la manœuvre de dépassement pour illustrer le principe de la modélisation.**

et avec les équations pour  $g_1$  et  $g_3$ , nous obtenons:

$$g_1 = L_i + v_i \cdot h_1 \quad \text{et} \quad g_3 = L_i + v_{pfin} \cdot h_3$$

$$v_{pfin} = v_p - d \cdot (T_a - t_a - t_2)$$

L'équation pour  $T_a$  montre que lorsque  $m$  augmente, le temps pour abandonner la manœuvre augmente aussi. On voit aussi que le temps pour abandonner la manœuvre ne dépend pas de la longueur des véhicules. On constate que le temps total nécessaire pour abandonner le dépassement dépend du moment  $t_a$  où on voit apparaître le véhicule opposé venant dans la voie de gauche.

Le temps  $T_a$  peut être réduit en augmentant le taux de décélération  $d$ .

On peut calculer la distance de visibilité nécessaire entre le véhicule P et un véhicule O apparaissant tout juste au moment  $t_a$  de la façon indiquée ci-dessous. Au moment  $t_a$ , le véhicule P est à l'endroit  $x_{pta}$  et le véhicule O est à  $x_{ota}$ . La distance de visibilité nécessaire au moment  $t_a$  est donc:

$$VISIB_{t_a} = x_{ota} - x_{pta}$$

La position  $x_{pta}$  du véhicule P se calcule:

$$x_{pta} = v_p \cdot t_a$$

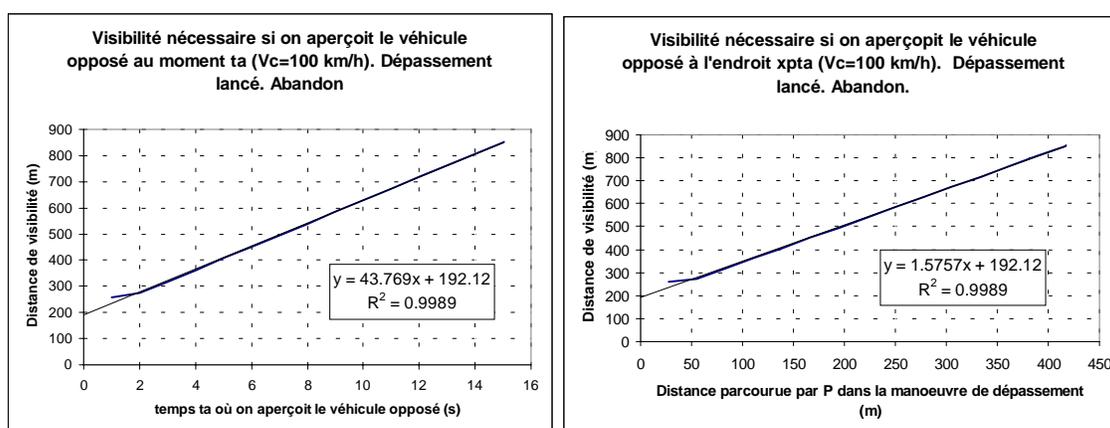
La position  $x_{ota}$  du véhicule O s'obtient en passant par les trajectoires du véhicule P et du véhicule O:

$$x_{ota} = x_{pTa} + C_3 + v_o \cdot (T_a - t_a)$$

$$VISIB_{t_a} = (v_i + v_o) \cdot T_a - (v_p + v_o) \cdot t_a + C_3 + g_1 - g_3$$

La distance de visibilité nécessaire à chaque moment  $t_a$  pendant la manœuvre d'abandon dépend de ce moment  $t_a$ . On constate aussi que la relation entre la visibilité et le moment où le véhicule opposé apparaît n'est pas une relation linéaire.

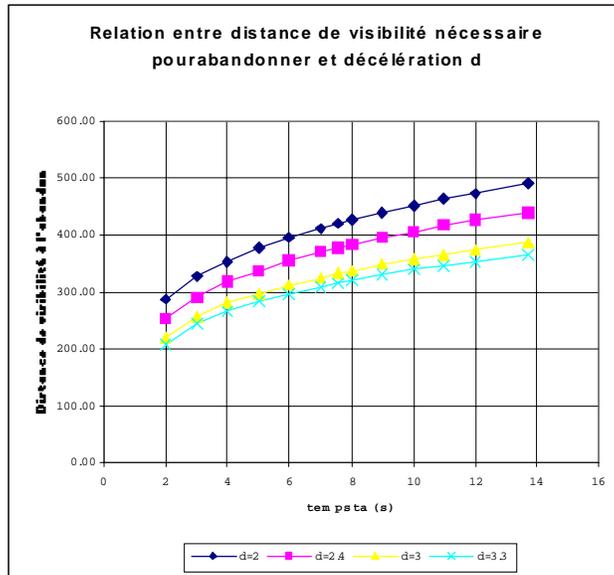
La relation entre la distance de visibilité nécessaire pour abandonner et le moment  $t_a$  est illustrée à la Figure 14, à gauche en fonction du temps passé dans le dépassement et à droite en fonction de la distance parcourue.



**Figure 14: Visibilité nécessaire pour abandonner le dépassement lancé en fonction du temps  $t_a$  et de l'endroit  $x_{pta}$  où on aperçoit le véhicule opposé.**

En étudiant la Figure 14, on constate que l'on a besoin de moins de visibilité lorsqu'on abandonne le dépassement au début de la manœuvre.

La variable décélération joue un rôle assez important dans ce contexte. En effet, si on augmente la décélération, la distance nécessaire pour abandonner le dépassement diminue. La Figure 15 illustre cette relation.

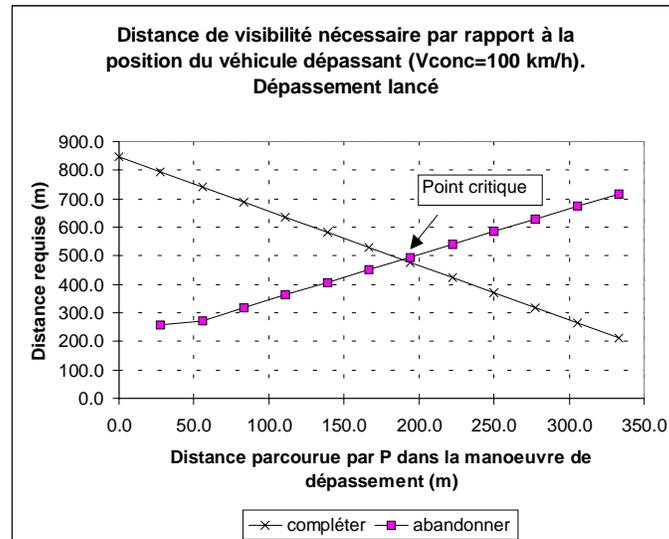


**Figure 15: Relation entre le taux de décélération et la distance de visibilité nécessaire pour abandonner. Dépassement lancé.**

#### 4.2.4. Étude des deux cas, compléter ou abandonner le dépassement.

Nous avons vu que pour compléter le dépassement, la distance de visibilité nécessaire diminue au fur et à mesure que le dépassement avance et que c'est le contraire pour la distance de visibilité nécessaire pour abandonner le dépassement.

En superposant les deux cas (nous suivons ici les idées énoncées par Krummins en 1985), nous pouvons dire pour chaque moment du dépassement quelle est la distance nécessaire pour abandonner et quelle est la distance nécessaire pour compléter le dépassement. La Figure 16 a été obtenue par superposition de la Figure 12 et de la Figure 14.



**Figure 16: Distance de visibilité nécessaire pour compléter ou pour abandonner le dépassement à l'endroit  $x_{pta}$  après le début du dépassement.**

Un exemple pratique d'un problème de visibilité dans une courbe verticale saillante permet d'illustrer certains points importants à propos de ce graphique.

On analyse trois cas: un premier cas, où on prévoit la distance de visibilité au moment  $t_0$ , un deuxième cas où la visibilité correspond à celle nécessaire au point critique et un troisième cas avec une visibilité intermédiaire. Dans l'exemple, il s'agit d'une route d'une vitesse de conception de 100 km/h et une différence algébrique des pentes du profil en long de  $A=10\%$ . La hauteur de l'œil est de 1.05 mètres et la hauteur du véhicule est de 1.15 mètres. Cet exemple est quelque peu artificiel mais permet de faire ressortir clairement la problématique.

Dans ce cas, la constante  $K$  de la courbe longitudinale est déterminée selon la formule suivante:

$$K = \frac{L}{A} = \frac{S^2}{880}$$

a) En se référant à la Figure 16, on voit que la distance de visibilité nécessaire  $S$  pour compléter le dépassement au moment  $t_0$  est égale à 845 mètres. Ceci correspond à une longueur de la courbe de 8110 mètres. Si la courbe est construite avec une longueur de 8110 mètres, on aura une visibilité suffisante sur toute la longueur de la courbe pour commencer et pour finir le

dépassement. En analysant la Figure 16, on s'aperçoit qu'après avoir parcouru une distance de 100 m en dépassant, la distance de visibilité nécessaire n'est que de 650 mètres.

Si on avait construit la courbe verticale pour une visibilité légèrement inférieure à celle nécessaire au moment  $t_0$  disons à 650 m, la longueur de la courbe nécessaire pour garantir cette visibilité n'aurait été que de 4800 mètres. La conséquence aurait été que pendant les 100 premiers mètres du dépassement le conducteur n'aurait pas eu assez de distance de visibilité pour finir le dépassement s'il avait vu apparaître un véhicule à 650 mètres de distance, mais il aurait pu abandonner le dépassement dans ce cas. En effet, la Figure 16 montre que pour abandonner, le conducteur n'aurait besoin que d'une visibilité de 330 mètres.

b) Selon le principe utilisé par l'AASHTO, on ne se servirait pas de la distance totale à partir de  $t_0$  mais on utilise plutôt la distance au point critique, augmentée de la distance parcourue par le véhicule P jusqu'au point critique. Cette distance est un compromis et serait dans notre cas égale à 680 mètres ( $VISIB_{t_c} + x_{ptc}$  de la Figure 16) .

c) Si on avait conçu la courbe verticale pour une visibilité de 490 mètres (c'est-à-dire pour  $VISIB_{t_c}$ ), sa longueur aurait été de 2730 mètres et on aurait eu une visibilité disponible de 490 le long de toute la courbe. Au début de la manœuvre de dépassement qui s'effectue dans cette courbe, (disons après 100 m), le conducteur ne peut pas compléter le dépassement lorsqu'il voit apparaître le véhicule opposé à une distance de 490 mètres. En effet, pour finir le dépassement, il lui faudrait une visibilité de 650 mètres. Mais il peut abandonner le dépassement, car il ne lui faut que 330 mètres pour cette manœuvre.

Étant donnée une distance disponible de 490 mètres, au fur et à mesure que le conducteur avance, il a toujours l'option d'abandonner la manœuvre. Ceci est vrai jusqu'à un certain point critique situé à 190 mètres environ après le début du dépassement. Après ce point, le conducteur n'a plus la visibilité nécessaire pour abandonner, mais il peut très bien compléter le dépassement. On appelle "point critique" ou "point de non-retour" le point où les visibilités nécessaires pour compléter et pour abandonner sont les mêmes.

d) Dans un troisième temps on conçoit la courbe verticale pour une visibilité de, disons 300 m (une longueur de courbe de 1020 mètres). Même si au début du dépassement la distance de

visibilité disponible dépasse celle nécessaire pour l'abandonner, on réalise qu'entre 70 et 280 mètres après le début du dépassement, la distance de visibilité disponible est inférieure à celle nécessaire pour abandonner et à celle nécessaire pour compléter. Il y a donc une zone de dilemme où le conducteur ne peut ni compléter ni abandonner en sécurité. C'est une situation clairement inacceptable pour le design d'une route.

Nous voyons donc que l'opération au point critique est acceptable et sécuritaire. Le choix entre l'adoption de  $VISIB_{t0}$  ou  $VISIB_{tc}$  est plutôt d'ordre politique et dépend du message que l'on veut donner au conducteur. Dans le premier cas, on a assez de visibilité pour amorcer et pour finir le dépassement, dans le deuxième cas on a, à tout moment, une distance de visibilité suffisante soit pour abandonner, soit pour compléter le dépassement, selon ce qui est le plus court. Cependant, il serait impératif que le conducteur sache quelle approche a été utilisée pour le design ou le marquage des routes.

#### 4.2.5. Le point critique

Le point critique qui peut servir de point de design peut être obtenu à partir des formules développées pour  $VISIB_{tc}$  et  $VISIB_{ta}$ . En effet, à ce point  $t_c$  est égal à  $t_a$ .

Étant donnée la complexité d'une solution analytique (si on pose  $VISIB_{tc}$  égale à  $VISIB_{ta}$ ), et ceci surtout pour des modèles plus complexes, il a été décidé de trouver la solution en utilisant un chiffrier.

À titre d'exemple nous référons au Tableau 10 obtenu par application de ce chiffrier au cas du dépassement lancé:

Le Tableau 10 montre que l'espacement  $\Delta c$  entre les pare-chocs des véhicules I et P est tel que le véhicule dépassant se trouve derrière le véhicule dépassé au moment critique (les valeurs sont alors positives). Ceci correspond assez bien aux observations, car on n'abandonne plus un dépassement si on a déjà dépassé le pare-chocs avant du véhicule I à dépasser.

Vitesse de conception (km/h)	VISIB <sub>t<sub>0</sub></sub>	VISIB <sub>t<sub>c</sub></sub> point critique	$\Delta c$ (m)
50	234	152	5,9
60	327	206	5,9
70	434	267	5,8
80	556	334	5,6
90	694	407	5,3
100	845	487	4,9
110	1012	573	4,8

**Tableau 10: Visibilité nécessaire pour le dépassement lancé. Visibilité nécessaire au point  $t_0$  et au point critique.**

Le problème qui se pose et qui a déjà été soulevé par Weaver et al (1979) est le suivant: quelles sont les attentes des conducteurs face à la distance de visibilité de dépassement? Est-ce que les conducteurs s'attendent à pouvoir finir le dépassement en sécurité une fois commencé ou est-ce qu'ils savent que le concepteur de la route ne prévoit qu'une distance qui lui permet de finir ou d'abandonner le dépassement et ceci dépendant du moment pendant la manœuvre où il voit apparaître le véhicule venant dans la voie opposée?

Quoiqu'il en soit, nos routes sont normalement conçues pour une visibilité de dépassement inférieure à la distance totale (bien sûr seulement aux endroits où il y a des contraintes géométriques ou topographiques).

## 5. LA DÉCOMPOSITION DE LA MANŒUVRE EN PHASES

Dans le chapitre précédent nous avons étudié le concept qui permet de déterminer une distance de visibilité sécuritaire au point critique. Il s'agit maintenant d'expliquer comment cette distance se compare aux distances connues des modèles existants (par exemple de l'AASHTO) et comment elle intervient dans la conception géométrique des routes et dans le marquage.

Le modèle de dépassement proposé fournira la distance de visibilité au point critique  $VISIB_{tc}$  ainsi que les temps  $t_c$ ,  $t_f$ ,  $T_c$ ,  $T_c + h_o$ ,  $2T_c + h_o - t_c$  et  $2T_c + h_o$  et les distances parcourues correspondantes.

À partir de ces distances, les distances nécessaires pour le marquage et pour la comparaison avec d'autres modèles sont développées. Ces temps, ainsi que les distances correspondantes, sont illustrés sur la Figure 17.

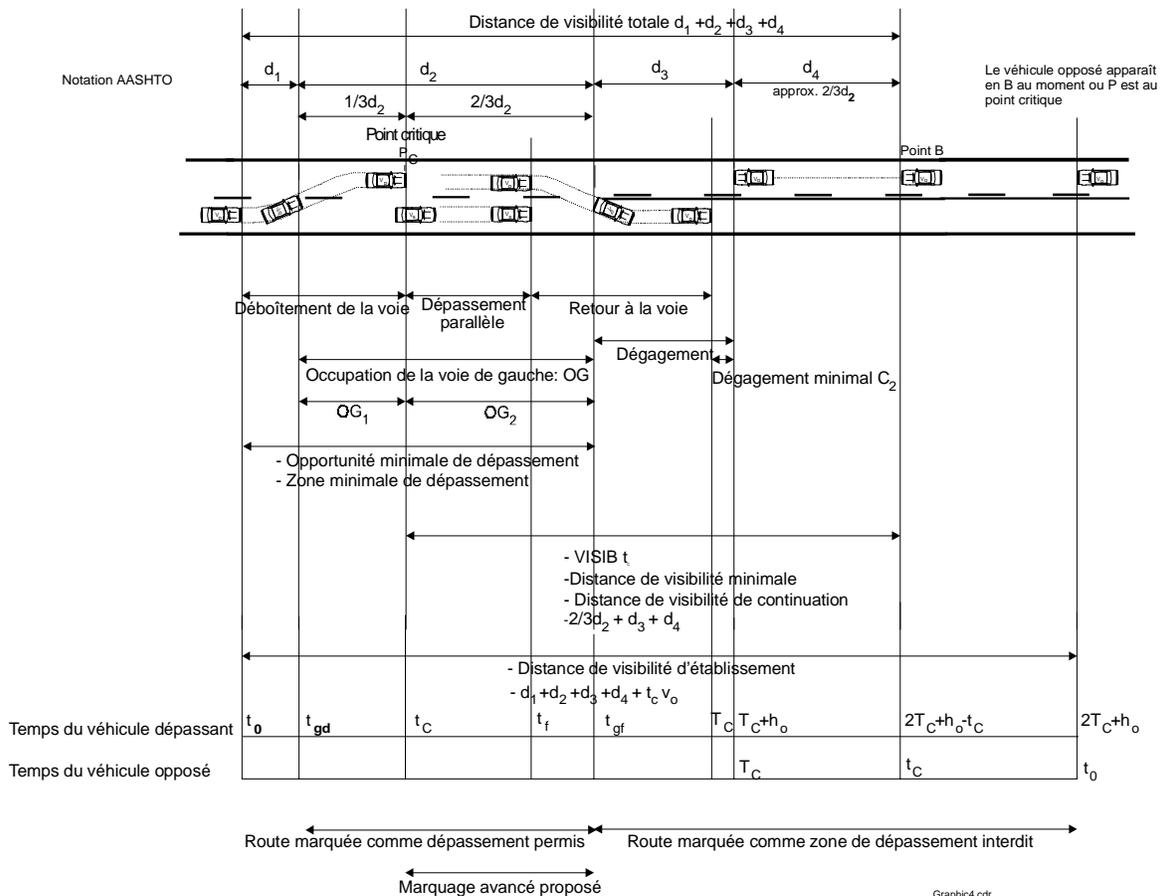


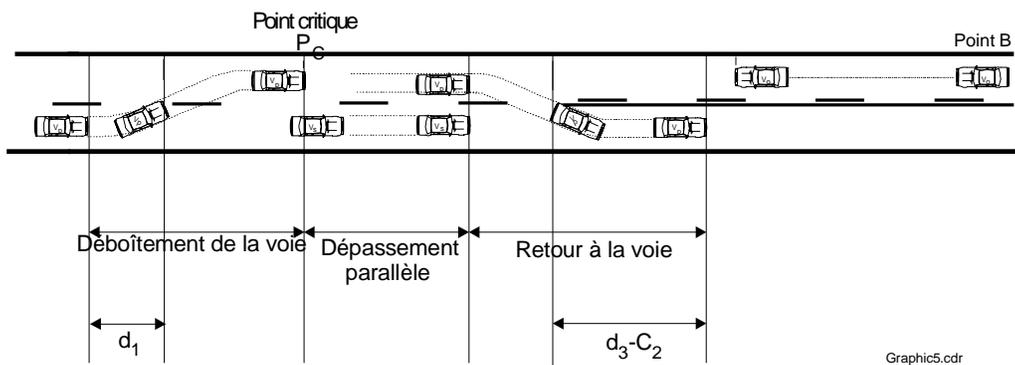
Figure 17: Décomposition de la manœuvre de dépassement en différentes phases.

Selon les besoins, la manœuvre peut être décomposée en différentes phases. Pour fins de marquage, l'occupation de la voie de gauche constitue un élément essentiel, par contre, pour établir le modèle, ce sont d'autres éléments qui comptent. Dans la littérature, on trouve de multiples désignations et décompositions de la manœuvre. Pour éviter la confusion, ces éléments sont discutés dans ce chapitre.

a) Du point de vue le plus fondamental, nous pouvons parler de trois phases du dépassement:

- Le début du dépassement qui inclut la distance jusqu'au point critique;
- Le dépassement proprement dit, ou la distance parcourue entre le point critique et le moment où les pare-chocs avant des deux véhicules P et I sont au même niveau.
- La fin du dépassement, qui représente la distance parcourue après le point où les deux pare-chocs sont au même niveau et le moment où le véhicule dépassant est de nouveau complètement dans sa voie.

La première phase inclut la distance  $d_1$  qui représente la distance parcourue au début du dépassement avant de franchir la ligne axiale et la troisième phase inclut la partie parcourue après avoir complètement quitté la voie de gauche. Ces notions sont illustrées à la Figure 18.

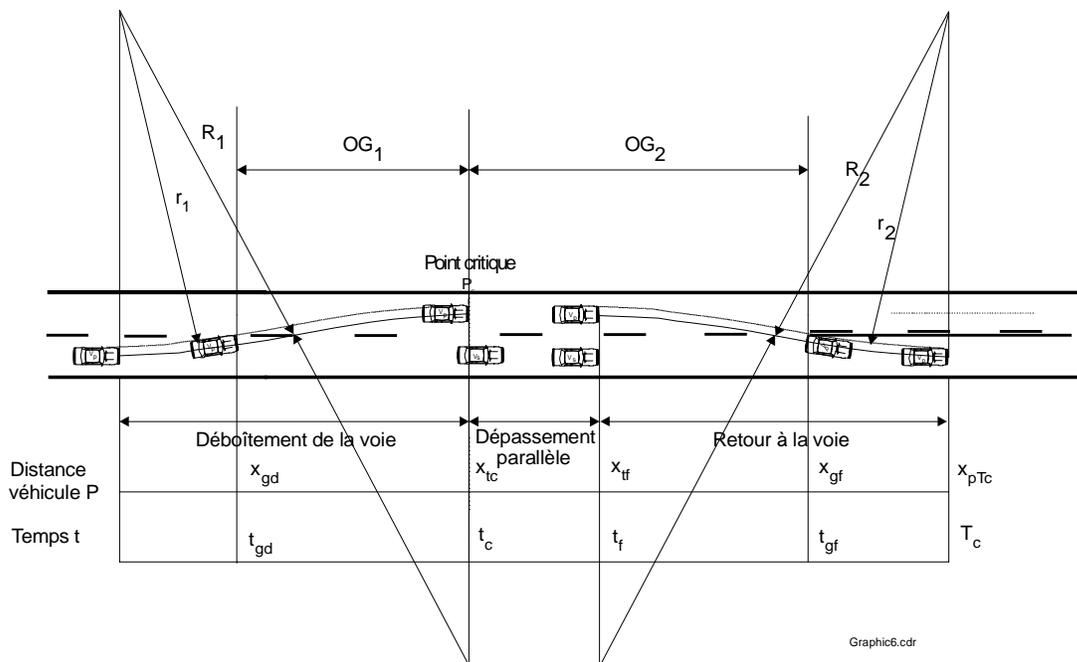


**Figure 18: Dépassement décomposé en trois phases fondamentales.**

b) La distance d'occupation de la voie de gauche est une distance importante, car elle constitue ensemble avec la distance  $d_1$  la longueur minimale d'une zone de dépassement permis. Cette distance est aussi illustrée à la Figure 17.

La distance d'occupation de la voie de gauche est découpée en deux parties séparées par le point critique, le début de l'occupation de la voie de gauche et la fin de l'occupation de la voie de gauche. Cette dernière a aussi été appelée "pass completion distance" par Weaver et correspondait à peu près à la distance  $2/3 d_2$  de l'AASHTO.

L'occupation de la voie de gauche est obtenue à partir des éléments suivants qui sont illustrés à la Figure 19.



**Figure 19: Détermination de l'occupation de la voie de gauche à partir des temps donnés par le modèle proposé.**

### 5.1. LA MANŒUVRE DE DÉBOÎTEMENT DE LA VOIE ( $OG_1 + D_1$ )

Le déboîtement se fait en suivant une courbe en "S" symétrique. Cette partie de la manœuvre se fait sur une distance:

Les phases

$$\xi = x_{pic}$$

Le centre du véhicule décrit une courbe d'un rayon de:

$$R_1 = \frac{L_{voie}}{4} + \frac{\xi^2}{4L_{voie}}$$

Le côté gauche du véhicule est sur un arc de cercle d'un rayon de:

$$r_1 = R_1 - \frac{W_p}{2}$$

On trouve pour l'endroit où le devant gauche du véhicule traverse l'axe (donc le début de l'occupation de la voie de gauche):

$$x_{gd} = \sqrt{r_1(L_{voie} - W_p) - \left(\frac{L_{voie} - W_p}{2}\right)^2}$$

et pour le temps correspondant à cet endroit:

$$t_{gd} = \left(t_1 - \frac{v_i}{a}\right) + \sqrt{\left(\frac{v_i - at_1}{a}\right)^2 - t_1^2 + \frac{2x_{gd}}{a}}$$

## 5.2. LA MANŒUVRE DE RETOUR À LA VOIE (OG<sub>2</sub>+D<sub>3</sub>-C<sub>2</sub>)

Le moment où les véhicules P et I sont au même niveau avec leur pare-chocs est donné par le temps  $t_f$  et la distance est  $x_{ptf}$ . Ce temps dépend du modèle cinématique choisi pour le calcul du dépassement.

Le retour à la voie se fait également en suivant une courbe en "S" symétrique. Cette partie de la manœuvre se fait sur une distance:

$$\xi_2 = x_{pTc} - x_{ptf}$$

Le centre du véhicule décrit une courbe d'un rayon de:

$$R_2 = \frac{L_{voie}}{4} + \frac{\xi_2^2}{4L_{voie}}$$

Le côté gauche du véhicule est sur un arc de cercle d'un rayon de:

$$r_2 = R_2 - \frac{W_p}{2}$$

On trouve, pour l'endroit où l'arrière gauche du véhicule traverse l'axe (donc l'endroit où l'occupation de la voie de gauche prend fin):

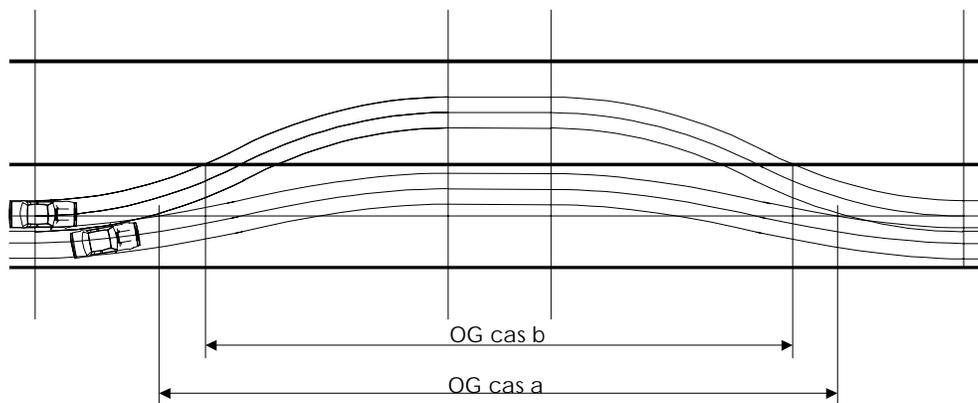
$$x_{gf} = x_{ptf} + \xi_2 - \sqrt{r_2(L_{voie} - W_p) - \left(\frac{L_{voie} - W_p}{2}\right)^2}$$

Le temps correspondant à cet endroit dépend du modèle choisi, c'est-à-dire ce temps dépend de l'état du véhicule s'il est encore en accélération ou s'il roule à vitesse constante.

L'occupation de la voie de gauche est donc:

$$OG = OG_1 + OG_2 \quad \text{ou} \quad d_2 = x_{gf} - x_{gd}$$

En analysant les formules, on s'aperçoit que OG dépend de la largeur des voies et de la largeur du véhicule P, toute autre variable restant égale par ailleurs. Pour une largeur de véhicule  $W_p$  donnée, la distance OG augmente si la largeur de la voie diminue. En effet, si la voie est moins large, le pare-chocs avant gauche du véhicule dépassant traversera la ligne axiale plus tôt et le pare-chocs arrière gauche quittera la voie opposée plus tard à la fin du dépassement, allongeant ainsi la distance OG. La Figure 20 illustre ce point. Sur cette figure, on voit que la distance OG décroît dans le cas b où la largeur de la voie est de deux fois celle du cas a, le véhicule P étant situé dans les deux cas au milieu de sa voie.



Graphic26.cdr

**Figure 20: Différence entre les longueurs OG pour deux largeurs de voies différentes.**

Le Tableau 11 donne un aperçu des longueurs OG pour deux largeurs de voie, comme on les rencontre sur le réseau routier du Québec.

$V_c$	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h
$L_{\text{voie}}=3 \text{ m}$	99	138	182	233	290	353	422
$L_{\text{voie}}=3,7\text{m}$	93	130	171	219	272	330	395
$\Delta OG$	6	8	11	14	18	23	27

**Tableau 11: Différence entre les distances OG pour différentes largeurs de voie.**

La largeur du véhicule  $W_p$  a également une certaine influence sur la longueur OG mais à un moindre degré. Pour une largeur de voie de 3,7 mètres et en gardant la longueur du véhicule P constante, on obtient le Tableau 12

$W_p$ (m)	1,8	2	2,2	2,4	2,6
$V_c= 60$ km/h	127	130	133	137	140
$V_c= 100$ km/h	322	330	340	349	360

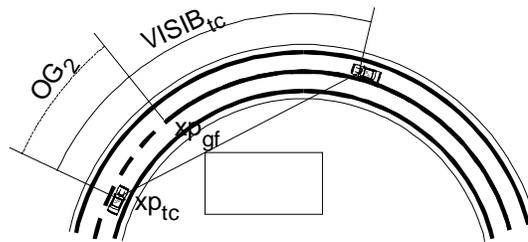
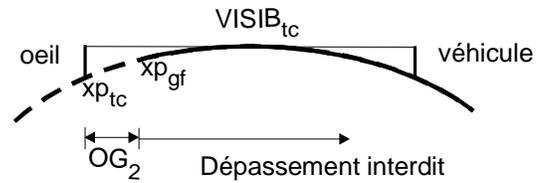
**Tableau 12: Distance OG pour différentes largeurs du véhicule dépassant P**

Lors du choix de la valeur de OG à utiliser dans la norme, il s'agit de tenir compte de ces variations possibles de la distance OG.

### 5.3. LA DISTANCE DE VISIBILITÉ "MINIMALE"

C'est la distance de visibilité qui est obtenue au point critique, c'est-à-dire là où la distance de visibilité est la même pour compléter ou pour abandonner le dépassement en sécurité. C'est la distance  $VISIB_{tc}$  dans le modèle. Cette distance a été introduite dans le guide australien de la conception géométrique des routes (Austroads, 1993) comme "distance de visibilité de continuation" et correspond à peu près à celle utilisée dans la norme du Québec (MTQ, 1993), c'est-à-dire  $2/3d_2 + d_3 + d_4$ . Elle a aussi été appelée "minimale" par Weaver et al (1978). Le terme "minimale" n'est pas très bien choisi, car il s'agit ici d'une distance dont le niveau de sécurité correspond à celui de bien d'autres interventions. Un exemple en est la durée du feu jaune à un carrefour à feux.

C'est la distance  $VISIB_{tc}$  qui servira dans le marquage des routes. La Figure 21 montre l'application de cette distance au marquage.



Graphic15.cdr

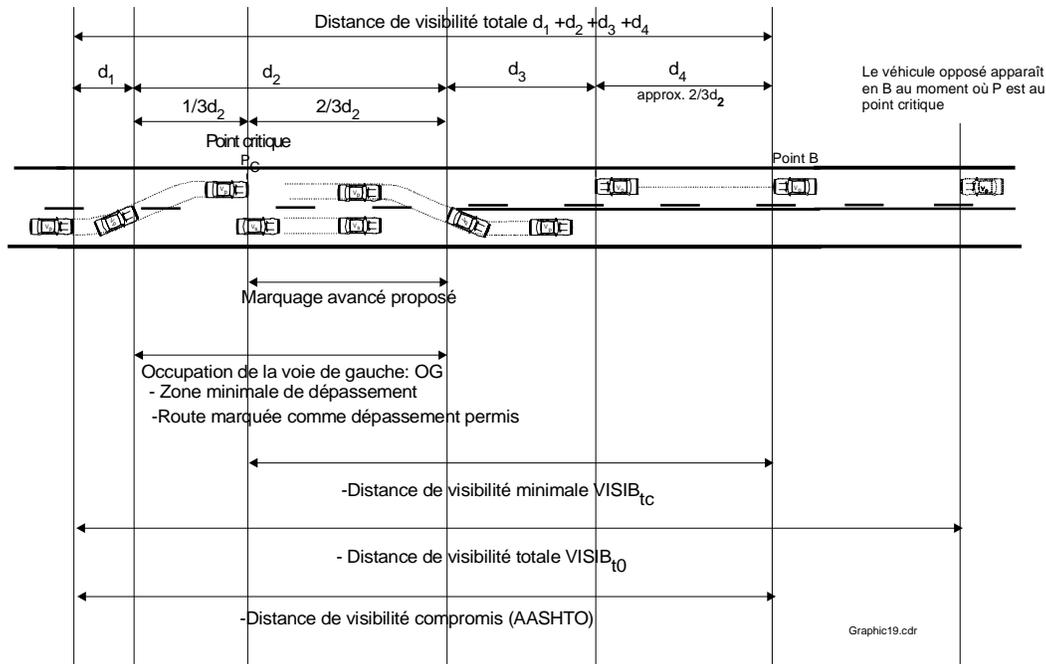
**Figure 21: Application de  $VISIB_{tc}$  au marquage des courbes verticales et horizontales.**

Le marquage se fait ici selon le principe de la "zone courte", c'est-à-dire que l'on ne peut pas franchir la ligne jaune continue venant ni d'un côté ni de l'autre du marquage. Si le conducteur atteint le point  $x_{p_{tc}}$ , là où il peut tout juste voir un véhicule de 1,15 m de hauteur à la distance de  $VISIB_{tc}$ , on marque le point  $x_{p_{tc}}$  sur la chaussée.

Si le conducteur est en train de dépasser, il doit retourner dans la voie de droite (deuxième partie de l'occupation de la voie de gauche  $OG_2$ ). On marque le point  $x_{p_{gf}}$  en mesurant la distance  $OG_2$  à partir du point  $x_{p_{tc}}$ .

Nous avons donc à déterminer les éléments suivants (voir Figure 22):

- Pour la conception géométrique:
  - ✓ La distance de visibilité totale à partir du moment  $t_0$  ( $VISIB_{t_0}$ )
  - ✓ La distance de visibilité similaire à celle utilisée par l'AASHTO et représentant un compromis entre  $VISIB_{t_0}$  et  $VISIB_{tc}$ . Cette distance correspond à  $VISIB_{tc} + x_{p_{tc}}$ .
  - ✓ La distance minimale de visibilité à partir du point critique  $t_c$   $VISIB_{tc}$ .
- Pour le marquage:
  - ✓ Zone minimale de dépassement  $d_1 + OG$
  - ✓ Zone du marquage avancé  $OG_2$
  - ✓ Zone de dépassement interdit.



**Figure 22: Distances de visibilité pour la conception des routes et pour le marquage.**



## 6. LE MODÈLE PROPOSÉ

### 6.1. INTRODUCTION

On peut faire différentes hypothèses quant au comportement des conducteurs impliqués dans le dépassement. Ces comportements donnent lieu à différents cas qui sont montrés dans le Tableau 13 :

Conducteur I	Conducteur P	Conducteur O	Retour de P	Cas
vi=const	v <sub>p</sub> =const	v <sub>o</sub> =const	Volontaire	Cas 3 lancé
		décélère	Forcé	
	accélère à v <sub>p</sub> , continue à v <sub>p</sub> et abandonne à v <sub>pfin</sub>	v <sub>o</sub> =const	Volontaire	Cas 1a avec attente
		décélère	Forcé	
	accélère à v <sub>p</sub> , continue à v <sub>p</sub> et abandonne à v <sub>pfin</sub> =v <sub>i</sub> -αm	v <sub>o</sub> =const	Volontaire	Cas 1c avec attente
		décélère	Forcé	
	accélère tout le long	v <sub>o</sub> =const	Forcé	Cas 2 avec attente
		décélère	Forcé	

**Tableau 13: Différents cas de comportement à étudier.**

Les différentes hypothèses sont tout à fait plausibles pour des dépassements en pratique. Pour fins de conception géométrique des routes et pour fins de marquage des chaussées par contre, certains cas ne sont pas souhaitables, car nous voulons assurer un dépassement confortable, ce qui ne serait pas en accord avec un retour forcé par exemple. Nous n'allons donc considérer que les retours volontaires, et négliger les cas où le conducteur opposé décélère pour faciliter le dépassement du véhicule P. Dans le même ordre d'idée, nous allons également négliger le cas où le conducteur I accélère ou décélère.

Le cas 3, dépassement lancé, n'est également pas un cas à considérer, car la plupart des dépassements doivent s'effectuer après avoir ralenti à la vitesse du véhicule à dépasser, donc avec attente. Le cas 3 produit des distances de visibilité légèrement inférieures aux autres cas et n'est donc pas critique.

Le cas 2 constitue également un cas que nous voulons éviter, car une accélération continue pendant toute la manœuvre entraîne une augmentation de la vitesse souvent au-delà des limites acceptables du point de vue strictement légal.

Tous les cas sont cependant intéressants et devraient être analysés, car ce sont des cas qui peuvent se produire en pratique. Ils donnent des distances de visibilité inférieures au cas 1 où le conducteur n'accélère que jusqu'à sa vitesse désirée, vitesse qui correspond à peu près à la vitesse de conception de la route. Le cas 1 est décomposé en deux cas, à savoir le cas 1a qui est celui où le conducteur décélère après abandon jusqu'à une vitesse assez faible et définie par les lois de la cinématique, tandis que dans le cas 1c la vitesse après abandon est fixée arbitrairement à un minimum pour éviter des problèmes lors de la réinsertion du véhicule dans la voie de droite. Cette hypothèse a été critiquée par certains chercheurs car, selon eux, il semble irréaliste qu'un conducteur se comporte ainsi. De plus, cette hypothèse génère des distances de visibilité plus grandes. Nous pouvons dire cependant que pour les fins de la conception routière, nous voulons garantir d'abord et surtout un fonctionnement sécuritaire, même si cela entraîne des distances de visibilité plus grandes.

**Après discussion avec le comité de suivi, il a été décidé de se baser sur le cas 1c pour développer les distances de visibilité et pour analyser les implications que des véhicules longs auront sur cette distance.**

## 6.2. DÉPASSEMENT AVEC ATTENTE, RETOUR VOLONTAIRE, ACCÉLÉRATION À LA VITESSE DÉSIRÉE: LE CAS 1C.

Ce modèle ressemble à celui proposé par Rillet (1990). Le déroulement du dépassement sera décrit dans les paragraphes suivants afin de donner les bases pour le développement des formules. Le conducteur du véhicule P désire rouler à une vitesse  $v_p$  (la vitesse désirée) qui est supérieure à celle du conducteur I qui roule à la vitesse constante  $v_i$ .

Le conducteur P rattrape donc le véhicule I et décélère à la vitesse de celui-ci et le suit pendant un temps donné. Lorsqu'une occasion de dépassement se présente, le conducteur P évalue la situation et prend la décision de dépasser (ce qui demande un temps  $t_1$  de perception et de réaction). Le conducteur P, tout en roulant encore à la même vitesse que le véhicule I devant lui,

réalise qu'il ne peut pas voir assez loin devant lui pour compléter le dépassement sans prendre en considération la possibilité d'abandonner le dépassement. Il prend donc le risque de continuer le dépassement sachant qu'un véhicule O, qu'il ne peut pas encore voir, (caché par exemple par le sommet d'une courbe verticale), pourrait être en train de s'approcher et éventuellement entrer en conflit avec lui.

Ayant pris la décision de risquer le dépassement, le conducteur P accélère ayant fixé son regard sur la voie devant lui, s'attendant toujours à voir surgir un véhicule venant dans le sens opposé. Deux cas peuvent alors se produire: premièrement, un véhicule O se présente et deuxièmement aucun véhicule opposé n'apparaît.

Le conducteur P est prêt à abandonner le dépassement jusqu'à ce qu'il se trouve à peu près à la hauteur du véhicule I. Quand il a dépassé le véhicule I, le conducteur P s'attend à avoir assez de visibilité pour finir le dépassement en sécurité. En effet, si le véhicule O apparaît au moment où il est à la hauteur de I, il continuera le dépassement et se réinsère dans la voie de droite en effectuant une courbe en "S". Pendant toute cette manœuvre le conducteur P a accéléré jusqu'à la vitesse désirée  $v_p$  et il a continué ensuite à vitesse constante.

Le véhicule O roulant à vitesse constante s'approche de P, mais sera séparé de celui-ci par une distance de sécurité lorsque P a atteint le centre de la voie de droite.

Si le véhicule O s'était présenté avant que P ait rejoint le véhicule I (c'est le point que nous avons appelé le "point critique" ou le "point de non-retour") alors P aurait abandonné le dépassement après avoir évalué les distances et les temps disponibles. Cette évaluation se fait pendant un temps de perception et de réaction de  $t_2$ . Pendant ce temps de perception-réaction, le véhicule continue en accélération ou à vitesse constante, s'il a déjà atteint la vitesse désirée  $v_p$ .

Ayant décidé d'abandonner le dépassement, le conducteur P freine, et, dépendant de la vitesse qu'il a déjà atteinte, reste plus ou moins longtemps en parallèle avec le véhicule I tout en perdant graduellement de sa vitesse. Dès que possible P se rabat derrière I à une distance assez faible. En effet, étant donné que sa vitesse est plus faible que celle du véhicule I, cette distance peut être courte car elle augmentera assez rapidement au fur et à mesure que I avance (et P freine encore).

Dans la plupart des cas, P n'est pas le seul véhicule qui était en file derrière le véhicule I. Il faut donc compter avec la présence d'autres véhicules et que le véhicule P devrait s'insérer entre deux véhicules. Le conducteur P doit donc atteindre une vitesse raisonnable lorsqu'il ralentit pour

Le modèle proposé

regagner sa voie. Si cette vitesse est trop faible, les autres véhicules roulant derrière I pourraient être forcés de freiner à un taux inconfortable. Comme déjà mentionné précédemment, si on applique les lois cinématiques aux mouvements du véhicule abandonnant le dépassement (comme dans le cas 1a) il se peut qu'une vitesse très faible en résulte, même dans certains cas une vitesse s'approchant de zéro. Le conducteur P va donc tenter de limiter la réduction de sa vitesse à une valeur raisonnable pour ne pas incommoder outre mesure les autres conducteurs suivants.

Il s'agit donc de modéliser cette manœuvre décrite dans les paragraphes précédents. La modélisation suit la méthodologie décrite dans le chapitre sur la modélisation et on fera utilisation du diagramme espace-temps pour expliquer certains détails supplémentaires importants.

Le modèle a deux parties, selon que

- le dépassement est complété
- le dépassement est abandonné.

### **6.2.1. Le dépassement complété**

On suppose ici que la route est construite de façon à ce que le conducteur dispose toujours d'une visibilité maximale qui lui permet de compléter le dépassement et ceci à n'importe quel moment  $t_c$ , moment où il aperçoit le véhicule opposé.

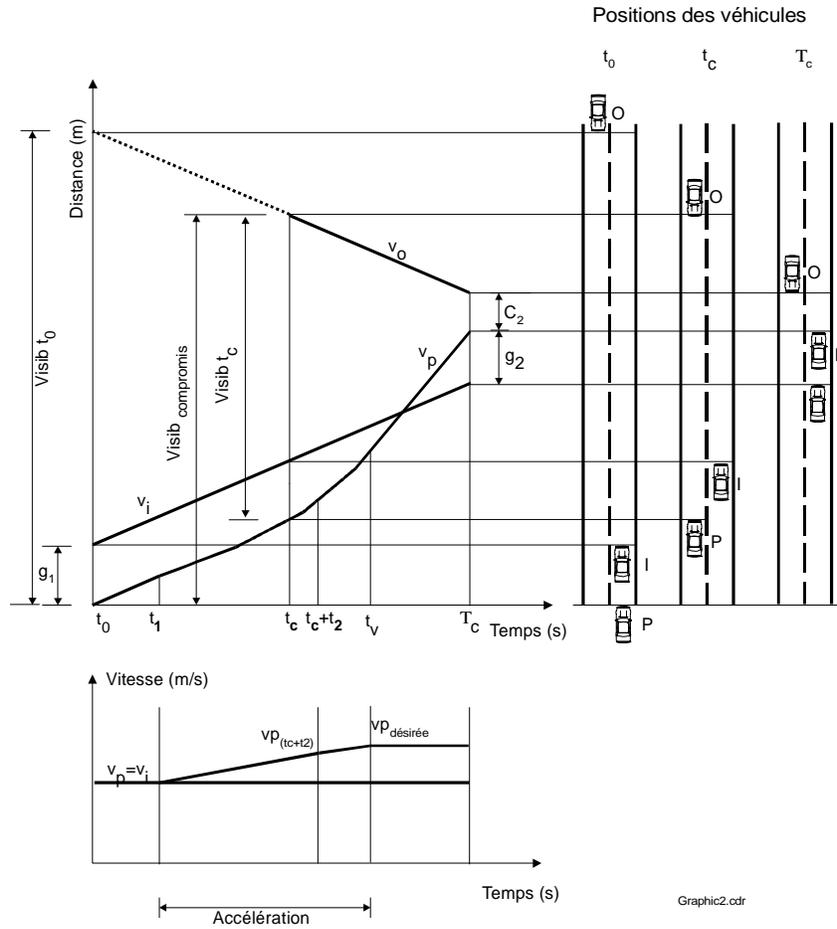
Le diagramme espace-temps du dépassement complété est illustré à la Figure 23.

Il y a deux phases distinctes dans cette manœuvre: la première est l'accélération jusqu'à la vitesse désirée (jusqu'au moment  $t_v$ ) et la deuxième est la continuation à vitesse constante.

En procédant comme pour le cas 3 utilisé dans le chapitre sur le principe de la modélisation et dépendant du moment  $t_c$  où apparaît le véhicule opposé, on obtient les formules suivantes:

- Moment et position du véhicule P à la fin de l'accélération

$$t_v = \frac{v_p - v_i}{a} + t_1 \quad \text{et} \quad x_{ptv} = v_i \cdot t_1 + \frac{v_p^2 - v_i^2}{2a}$$



**Figure 23: Diagramme espace-temps du dépassement complet. Cas 1c.**

- Position du véhicule P au moment  $t_c$

$$t_c \leq t_1 \quad x_{ptc} = v_i \cdot t_c$$

$$t_c \leq t_v \quad x_{ptc} = v_i \cdot t_c + \frac{1}{2} a (t_c - t_1)^2$$

$$t_c > t_v \quad x_{ptc} = x_{ptv} + v_p (t_c - t_v)$$

Le modèle proposé

- Moment et Position du véhicule P à la fin du dépassement complété

$$T_c = \frac{(v_p - v_i)}{2a} + \frac{(g_1 + g_2)}{(v_p - v_i)} + t_1 \quad \text{et} \quad x_{pTc} = g_1 + g_2 + v_i \cdot T_c$$

- Espacements au début et à la fin du dépassement complété

$$g_1 = L_i + v_i \cdot h_1 \quad \text{et} \quad g_2 = L_p + v_i \cdot h_2$$

- Distance de sécurité entre les véhicules O et P à la fin du dépassement complété

$$C_2 = (v_p + v_o) \cdot h_0$$

- Visibilité requise pour fins de dépassement quand on aperçoit le véhicule O au moment  $t_c$

$$VISIB_{t_c} = x_{pTc} + C_2 + v_o (T_c - t_c) - x_{pitc}$$

### 6.2.2. Le dépassement abandonné

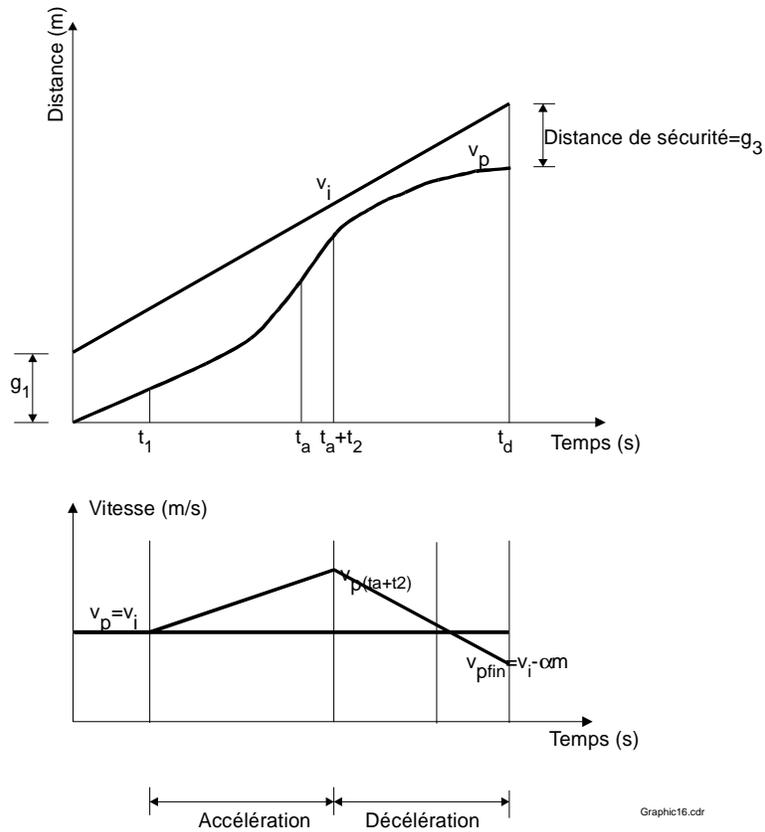
Cette manœuvre est beaucoup plus complexe que le dépassement complété et il s'agit de décomposer la manœuvre dans ses éléments. On peut distinguer essentiellement deux temps différents, premièrement le temps pendant lequel le conducteur P accélère (donc le temps avant  $t_v$ ) et deuxièmement le temps pendant lequel il roule à vitesse constante. Les formules qui en découlent ne sont pas les mêmes.

On analyse d'abord le cas où O apparaît avant que P ait atteint sa vitesse  $v_p$ .

**a)**  $t_a < t_v$

Le conducteur se trouve dans la période d'accélération lorsqu'il voit apparaître le véhicule opposé. Après un temps de perception et de réaction  $t_2$  (qui se passe encore en accélérant), le conducteur

freine au taux de décélération confortable jusqu'à la vitesse de  $v_{pfin} = v_i - \alpha m$  et se range derrière le véhicule I à une distance de sécurité  $g_3^*$  (voir Figure 24).



**Figure 24: Abandon du dépassement avant d'avoir atteint la vitesse désirée  $v_p$ .**

Une fois cette vitesse  $v_{pfin}$  atteinte, le véhicule P devrait avoir le bon espacement  $g_3$  que nous avons défini auparavant. Ceci n'est cependant pas nécessairement le cas, comme nous allons le démontrer.

Pour ces fins, on calcule la position du véhicule P à la fin de la décélération, donc quand il a atteint la vitesse  $v_{pfin}$  et on calcule également la position du véhicule I à ce moment. La différence devrait être l'espacement  $g_3$ .

- Position du véhicule P au moment  $t_a + t_2$

$$x_{p(t_a+t_2)} = v_i(t_a + t_2) + \frac{1}{2}a(t_a + t_2 - t_1)^2 \quad \text{et} \quad v_{p(t_a+t_2)} = v_i + a(t_a + t_2 - t_1)$$

Le modèle proposé

- Position du véhicule P à la fin de l'abandon (au moment  $t_d$ )

$$t_d = \frac{(t_a + t_2)(a + d) + \alpha \cdot m - at_1}{d} \quad \text{et} \quad x_{ptd} = x_{p(ta+t2)} + \frac{v_{p(ta+t2)}^2 - v_{pfin}^2}{2d}$$

- Position du véhicule I à la fin de l'abandon (au moment  $t_d$ )

$$x_{iid} = g_1 + v_i \cdot t_d$$

- Distance de sécurité à la fin de l'abandon

$$g_3^* = x_{iid} - x_{ptd}$$

Trois cas peuvent se présenter par rapport à l'espacement entre I et P:

- ✓  $g_3^* < g_3$  donné et souhaitable
- ✓  $g_3^* = g_3$  donné et souhaitable
- ✓  $g_3^* > g_3$  donné et souhaitable

Dans le premier cas, on s'est trop approché du véhicule I, il faut agrandir la distance pour arriver à l'espacement  $g_3$  donné en parcourant une distance supplémentaire dans la voie de gauche à vitesse constante  $v_{pfin}$ .

Pour distinguer entre ces trois cas, une variable supplémentaire  $t_a^*$  a été introduite, qui représente exactement le moment d'un abandon à  $t_a$  qui donnera le bon espacement  $g_3^* = g_3$ .

La variable test  $t_a^*$  est la suivante:

$$t_a^* = \sqrt{\frac{2d(g_1 - g_3) + (\alpha \cdot m)^2}{a(a + d)}} - t_2 + t_1$$

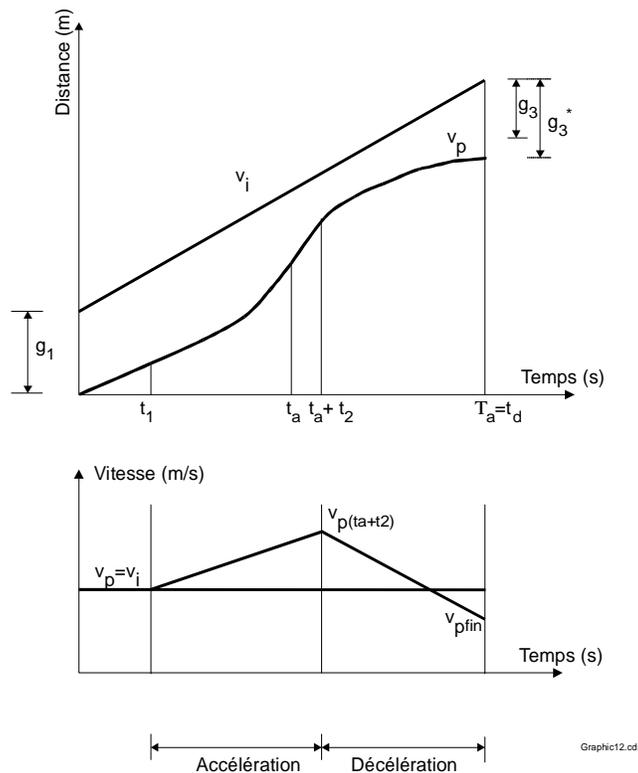
On déterminera donc le temps total nécessaire pour abandonner le dépassement quand on aperçoit le véhicule opposé en fonction du temps  $t_a$ .

Dans les paragraphes suivants, on développe les équations pour les trois cas mentionnés auparavant.

i)  $t_a < t_a^*$

C'est donc le cas où  $g_3^* > g_3$ . Ce cas implique que P a freiné trop fortement et que P n'est pas encore assez avancé dans le dépassement, ce qui entraîne un espacement trop grand après abandon. Ce n'est pas un problème en soi, mais il s'agit de recalculer  $g_3$  pour en tenir compte et remplacer cet espacement par  $g_3^*$ .

Ce cas interviendra uniquement dans certaines conditions et pour certaines vitesses de conception. La situation est illustrée sur le diagramme espace-temps de la Figure 25.



**Figure 25: Diagramme espace temps pour le cas où  $t_a < t_a^*$ .**

Le modèle proposé

L'espace réel dans ce cas est donné par la formule suivante:

$$g_3^* = g_1 - \frac{(t_a + t_2 - t_1)^2 (a^2 + ad) - (\alpha \cdot m)^2}{2d}$$

Et le temps total nécessaire pour l'abandon est:

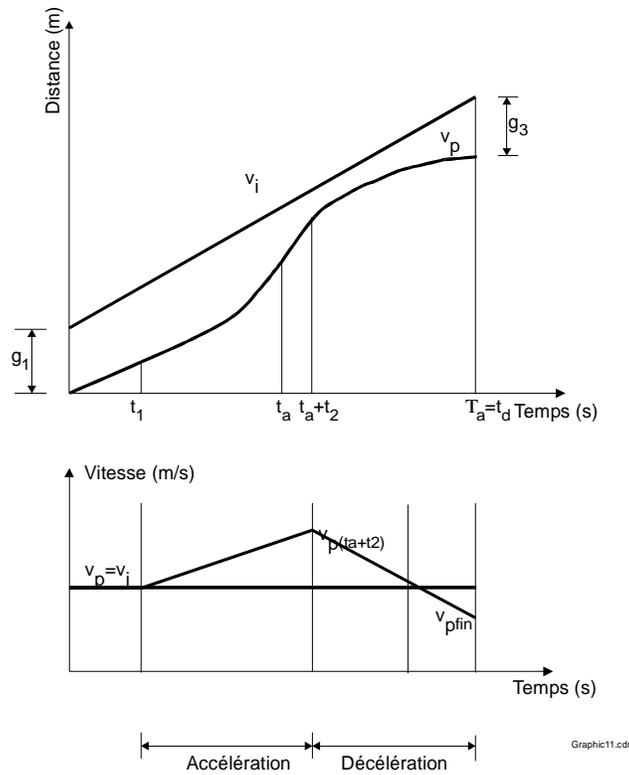
$$T_a = t_d$$

ii)  $t_a = t_a^*$

Ceci implique que l'espace à la fin de l'abandon est égal à celui que l'on a fixé au début, donc  $g_3^* = g_3$ . Le diagramme espace-temps de la Figure 26 illustre ce cas.

Dans ce cas:

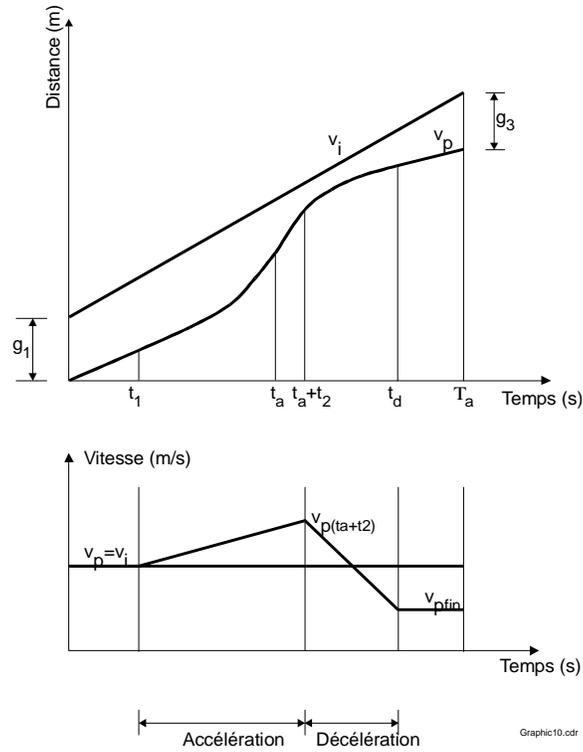
$$T_a = t_d \quad \text{et} \quad g_3^* = g_3$$



**Figure 26: Diagramme espace temps pour le cas où  $t_a = t_a^*$ .**

iii)  $t_a > t_a^*$

Dans ce cas, l'espacement  $g_3^*$  est plus petit que  $g_3$ . Le diagramme espace temps de la Figure 27 montre ce cas. Le conducteur P roule dans la voie de gauche pendant un certain temps à la vitesse  $v_{pfin}$  avant que le créneau espace entre lui et I soit assez grand pour se rabattre en sécurité, à savoir égal à  $g_3$ .



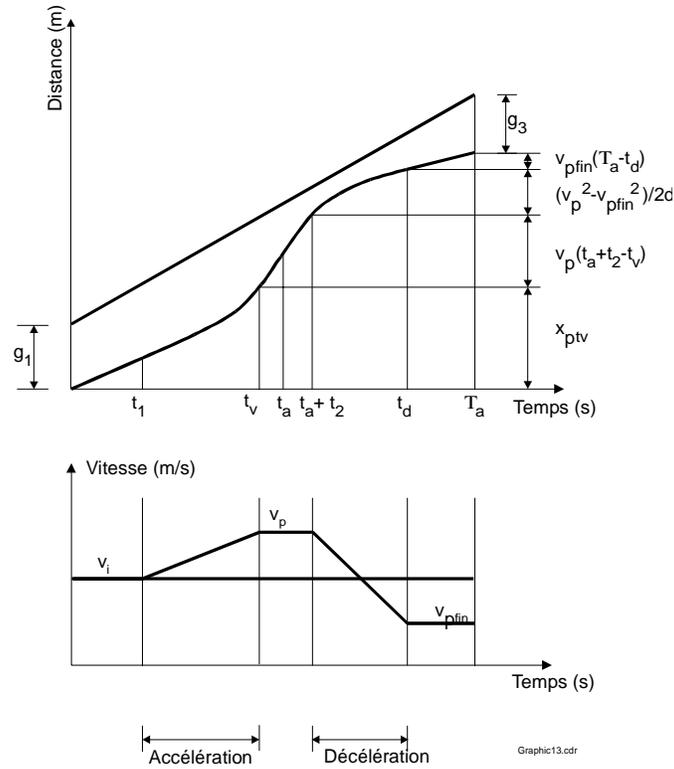
**Figure 27: Diagramme espace temps pour le cas où  $t_a > t_a^*$ .**

$$T_a = \frac{1}{\alpha \cdot m} \left\{ \frac{1}{2} a(t_a + t_2 - t_1)^2 + \frac{1}{2d} (a(t_a + t_2 - t_1) + \alpha \cdot m)^2 - g_1 + g_3^* + \alpha \cdot m(t_a + t_2) \right\}$$

$$g_3^* = g_3$$

**b)  $t_a > t_v$**

Dans ce cas l'accélération à la vitesse désirée a été terminée et le véhicule P roule à vitesse constante  $v_p$  quand le conducteur aperçoit le véhicule opposé. La situation est illustrée à l'aide du diagramme espace-temps de la Figure 28 .



**Figure 28: Le conducteur abandonne le dépassement après avoir accéléré à la vitesse désirée  $v_p$ .**

Dans ce cas, les variables importantes deviennent:

$$t_d = \frac{v_p - v_{pfin}}{d} + t_a + t_2$$

$$x_{pTa} = g_1 - g_3 + v_i T_a$$

$$T_a = \frac{1}{\alpha \cdot m} \left\{ x_{ptv} + v_p (t_a + t_2 - t_v) + \frac{v_p^2 - v_{pfin}^2}{2d} - v_{pfin} \cdot t_d - g_1 + g_3 \right\}$$

### 6.3. RÉSUMÉ DES FORMULES POUR LE CAS 1C

#### **a) Formules générales:**

- Moment et position du véhicule P à la fin de l'accélération

$$t_v = \frac{v_p - v_i}{a} + t_1$$

$$x_{ptv} = v_i \cdot t_1 + \frac{v_p^2 - v_i^2}{2a}$$

$$t_d = \frac{(t_a + t_2)(a + d) + \alpha \cdot m - at_1}{d}$$

$$x_{ptd} = x_{p(ta+t2)} + \frac{v_{p(ta+t2)}^2 - v_{pfin}^2}{2d}$$

$$t_a^* = \sqrt{\frac{2d(g_1 - g_3) + (\alpha \cdot m)^2}{a(a + d)}} - t_2 + t_1$$

#### **b) Le dépassement complété**

- Position du véhicule P

$$t_c < t_v$$

$$t_c \leq t_1 \quad x_{ptc} = v_i \cdot t_c$$

$$t_c \leq t_v \quad x_{ptc} = v_i \cdot t_c + \frac{1}{2}a(t_c - t_1)^2$$

$$T_c = \frac{(v_p - v_i)}{2a} + \frac{(g_1 + g_2)}{(v_p - v_i)} + t_1$$

$$x_{pTc} = g_1 + g_2 + v_i \cdot T_c$$

$$g_1 = L_i + v_i \cdot h_1$$

$$g_2 = L_p + v_i \cdot h_2$$

$$C_2 = (v_p + v_o) \cdot h_2$$

$$VISIB_{ic} = x_{pTc} + C_2 + v_o(T_c - t_c) - x_{ptc}$$

$$t_c > t_v$$

$$t_c > t_v \quad x_{ptc} = x_{ptv} + v_p(t_c - t_v)$$

### c) Le dépassement abandonné

$$t_a < t_v$$

- Position et vitesse du véhicule P

$$x_{pta} = v_i t_a + \frac{1}{2} a (t_a - t_1)^2$$

$$\text{Si } (t_a + t_2) < t_v \quad \text{alors} \quad x_{p(ta+t2)} = v_i (t_a + t_2) + \frac{1}{2} a (t_a + t_2 - t_1)^2$$

$$\text{Si } (t_a + t_2) > t_v \quad \text{alors} \quad x_{p(ta+t2)} = v_p (t_a + t_2 - t_v) + x_{ptv}$$

$$v_{pta} = v_i + a(t_a - t_1)$$

$$\text{Si } (t_a + t_2) < t_v \quad \text{alors} \quad v_{p(ta+t2)} = v_i + a(t_a + t_2 - t_1)$$

$$\text{Si } (t_a + t_2) > t_v \quad \text{alors} \quad v_{p(ta+t2)} = v_p$$

$$\text{Si } t_a < t_a^* \quad \text{alors} \quad T_a = t_d$$

$$\text{et: } g_3^* = g_1 - \frac{(t_a + t_2 - t_1)^2 (a^2 + ad) - (\alpha \cdot m)^2}{2d}$$

Le modèle proposé

Si  $t_a = t_a^*$  alors  $T_a = t_d$

et  $g_3^* = g_3$

Si  $t_a > t_a^*$  alors

- Temps nécessaire pour abandonner le dépassement au moment  $t_a$

$$T_a = \frac{1}{\alpha \cdot m} \left\{ \frac{1}{2} a(t_a + t_2 - t_1)^2 + \frac{1}{2d} (a(t_a + t_2 - t_1) + \alpha \cdot m)^2 - g_1 + g_3^* + \alpha \cdot m(t_a + t_2) \right\}$$

et  $g_3^* = g_3$

**$t_a > t_v$**

- Positions

$$x_{pta} = v_p(t_a - t_v) + x_{ptv}$$

$$x_{p(ta+t2)} = v_p(t_a + t_2 - t_v) + x_{ptv}$$

$$v_{pfin} = v_i - \alpha \cdot m$$

$$C_3 = (v_o + v_{pfin}) \cdot h_o$$

$$x_{pTa} = g_1 - g_3^* + v_i T_a$$

- Temps nécessaire pour abandonner le dépassement au moment  $t_a$

$$T_a = \frac{1}{\alpha \cdot m} \left\{ x_{ptv} + v_p(t_a + t_2 - t_v) + \frac{v_p^2 - v_{pfin}^2}{2d} - v_{pfin} \cdot t_d - g_1 + g_3 \right\}$$

- Visibilité nécessaire pour abandonner le dépassement au moment  $t_a$

$$VISIB_{ta} = x_{pTa} + C_3 + v_o(T_a - t_a) - x_{pta}$$

La visibilité critique s'obtient si  $t_a = t_c$  et  $VISIB_{ta} = VISIB_{tc}$

La visibilité  $VISIB_{t0}$  s'obtient pour  $t_c = 0$

## 7. ANALYSE

### 7.1. INTRODUCTION

Le chapitre est divisé en deux parties, une première traitant de la distance de visibilité pour la conception des routes et une deuxième touchant le marquage.

Le modèle proposé (modèle 1c) a été appliqué en utilisant les valeurs des paramètres décrites au chapitre sur les variables du modèle.

Les cas suivants ont été étudiés:

- Un véhicule particulier de  $L_p = 5,6$  m de longueur en dépasse un autre ( $L_i = 5,6$  m)
- Un véhicule particulier de  $L_p = 5,6$  m de longueur dépasse un véhicule lourd ( $L_i = 12$  m)
- Un véhicule particulier de  $L_p = 5,6$  m de longueur dépasse un véhicule lourd ( $L_i = 21$  m)
- Un véhicule particulier de  $L_p = 5,6$  m de longueur dépasse un véhicule lourd ( $L_i = 25$  m)

Les résultats de chacun de ces cas seront présentés sous forme de tableau. Dans ces tableaux, nous présentons trois ensembles distincts de données. Premièrement, les résultats du modèle, ce sont les distances de visibilité pour la conception routière et pour le marquage. Deuxièmement, (tout en rappelant que la phase  $d_3$  n'est pas tout à fait identique à celle de l'AASHTO) on donne les résultats du modèle décomposés en phases similaires à celles utilisées par l'AASHTO et par la norme québécoise. Enfin, troisièmement, on présente les distances de visibilité que l'on trouve actuellement dans la norme américaine (AASHTO, 1994), dans celle du Québec (MTQ, 1993) et dans la norme australienne (Austroads, 1993).

Ces trois ensembles permettent une comparaison entre les résultats obtenus par le modèle 1c et les normes actuellement en vigueur au Québec et ailleurs. La norme australienne est citée ici en particulier, car elle est la seule qui utilise également la visibilité au moment  $t_c$  et  $t_0$ .

À partir du tableau principal, différents tableaux et figures sont développés pour clairement faire ressortir les différences avec les normes existantes. Ces comparaisons permettent au comité de suivi de prendre une décision plus facilement quant au modèle et aux paramètres à choisir.

## 7.2. LES DISTANCES DE VISIBILITÉ POUR LA CONCEPTION GÉOMÉTRIQUE

Nous allons d'abord analyser le cas du dépassement d'un véhicule particulier par un autre véhicule particulier, situation qui est la plus fréquente et, par la suite, le dépassement d'un véhicule lourd.

### 7.2.1. Un véhicule particulier de $L_p = 5,6$ m de longueur en dépasse un autre ( $L_i = 5,6$ m)

Le Tableau 14 présente les résultats

	Vc=50 km/h	Vc=60 km/h	Vc=70 km/h	Vc=80 km/h	Vc=90 km/h	Vc=100 km/h	Vc=110 km/h
Visibilité au moment $t_0$ (VISIB $t_0$ )	271	379	504	646	806	984	1181
Visibilité selon le principe de l'AASHTO	213	295	388	494	611	741	883
Visibilité au moment critique $t_c$ (VISIB $t_c$ )	152	206	267	334	407	487	573
$\Delta c$	5,9	5,9	5,8	5,6	5,3	5	4,8
$d_1$	20	30	41	54	69	86	105
Occupation de la voie gauche $d_2 = OG$	93	130	171	219	272	330	395
$d_3$	42	55	69	84	101	119	138
$d_4$	57	80	107	136	169	206	245
AASHTO	345	407	482	541	605	670	728
Norme du Québec minimum	210	270	320	380	420	480	530
Norme du Québec souhaitable	310	380	460	540	600	690	750
Norme australienne "Établissement"	165	205	245	300	360	430	500
Norme australienne "Continuation"	330	420	520	640	770	920	1100

**Tableau 14: Dépassement de deux véhicules particuliers. Cas 1c.**

Pour fins de conception routière, trois distances sont présentées, à savoir la distance totale de visibilité au moment  $t_0$ , la distance de visibilité de compromis selon le principe de l'AASHTO et la distance de visibilité minimale au moment  $t_c$ .

Comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, la distance de visibilité selon le principe de l'AASHTO ne représente aucune distance de visibilité en particulier, c'est plutôt un compromis entre la distance au moment  $t_0$  et au moment  $t_c$ . L'exemple (en annexe B) d'un cas pratique similaire à celui utilisé dans le chapitre sur la modélisation illustre la différence entre ces trois distances.

La distance totale de visibilité (au moment  $t_0$ ) devrait être utilisée pour la conception routière dans la mesure du possible, car elle permet un dépassement en sécurité du début jusqu'à la fin

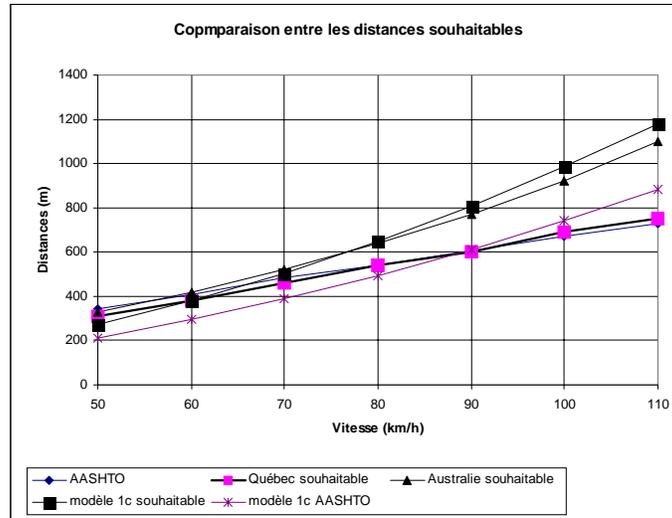
sans devoir abandonner la manœuvre. La distance minimale représente également un fonctionnement sécuritaire, mais basé sur un comportement différent de l'utilisateur qui dispose en tout moment d'une distance de visibilité suffisante pour soit abandonner soit compléter le dépassement. Ce fonctionnement peut également être considéré comme sécuritaire. La troisième distance représente un compromis entre le minimum et la distance totale. Elle augmente la sécurité, cependant elle demande quand même, pendant un certain laps de temps au début du dépassement, au conducteur d'abandonner son dépassement si un véhicule opposé se présente.

**Le choix entre ces trois distances devrait se faire au niveau "politique", car un coût est relié à cette décision. Idéalement, on devrait concevoir les routes pour la distance de visibilité totale.**

La Figure 29 et le Tableau 15 permettent de comparer les distances souhaitables dérivées par application du modèle 1c à celles utilisées dans les normes actuellement. Il faut rappeler ici que les distances souhaitables de la norme du Québec ont été établies selon le principe de la méthode de l'AASHTO.

Vitesse $V_c$ (km/h)	AASHTO "compromis"	Québec souhaitable compromis selon AASHTO	Australie souhaitable moment $t_0$	modèle 1c souhaitable moment $t_0$	modèle 1c compromis selon AASHTO
50	345	310	330	271	213
60	407	380	420	379	295
70	482	460	520	504	388
80	541	540	640	646	494
90	605	600	770	806	611
100	670	690	920	984	741
110	728	750	1100	1181	883

**Tableau 15 : Comparaison entre les distances souhaitables du modèle et des normes.**



**Figure 29: Comparaison entre les distances souhaitables du modèle et des normes actuelles.**

Les distances obtenues à l'aide du modèle 1c correspondent aux valeurs utilisées en Australie et proviennent d'un projet de recherche important mené par Troutbeck en 1981. On voit que les distances souhaitables du modèle 1c sont plus grandes que celles de l'AASHTO (et du Québec qui utilise la même approche que l'AASHTO comme démontré par Baass, 1996). Ceci s'explique par le fait que l'on n'utilise pas les mêmes hypothèses quant au comportement des conducteurs. Dans le Tableau 15, les trois colonnes intitulées "compromis" sont directement comparables, car basées sur les mêmes hypothèses. On constate aussi que le modèle 1c "compromis" donne des distances inférieures si on les compare à celles de l'AASHTO pour des vitesses de conception inférieures à 90 km/h.

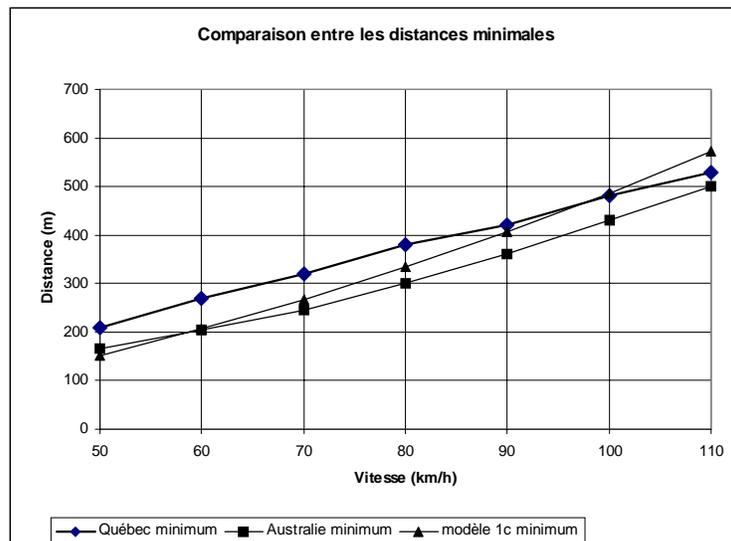
Quant aux distances minimales, le Tableau 16 et la Figure 30 illustrent les relations entre les différentes normes.

Vitesse Vc (km/h)	Québec minimum	Australie minimum Moment $t_c$	modèle 1c minimum Moment $t_c$
50	210	165	152
60	270	205	206
70	320	245	267
80	380	300	334
90	420	360	407
100	480	430	487
110	530	500	573

**Tableau 16: Comparaison entre les distances de visibilité minimales du modèle et des normes actuelles.**

On remarque l'absence de l'AASHTO de ce tableau, car la norme américaine n'utilise pas ce genre de distance minimale. Il faut dire que la présence de deux distances dans une même norme peut causer quelques problèmes surtout si le domaine d'application des distances n'est pas clairement défini.

On constate que les distances minimales obtenues par le modèle 1c sont inférieures (jusqu'à une vitesse de 80 km/h) par rapport aux distances actuellement utilisées au Québec et correspondent relativement bien à celles de l'Australie.



**Figure 30: Comparaison entre les distances de visibilité minimales du modèle et des normes.**

#### *Remarques sur la distance de visibilité à choisir pour la conception des routes*

Si on conçoit la route selon la DVD totale au moment  $t_0$ , la manœuvre de dépassement peut être exécutée en sécurité du début à la fin. La distance de visibilité est donc définie à partir du point où le conducteur commence à regarder la route devant lui pour décider s'il dépasse ou non.

Toute DVD moindre est moins sécuritaire. On demande au conducteur d'abandonner la manœuvre s'il aperçoit le véhicule opposé O à un moment ultérieur. Cependant, on peut considérer que le point de référence est le point critique  $P_c$  (Figure 16). C'est-à-dire on suppose

qu'à cet endroit les deux choix sont équivalents, à savoir abandonner la manœuvre ou la continuer.

Selon AASHTO, la distance de visibilité nécessaire est alors  $2/3d_2 + d_3 + d_4$ . La route conçue selon cette distance a des caractéristiques géométriques minimales du point de vue dépassement. Cette notion correspond à la notion conventionnelle en sécurité routière, c'est-à-dire celle qui veut éviter des conflits potentiels. Concevoir la route pour ce critère ne donne cependant pas une grande marge d'erreur aux conducteurs.

Les avantages et les inconvénients des deux distances  $DVD_{totale}$  et  $DVD_{minimale}$  sont montrés au Tableau 17. (adapté de FHWA, 1979).

DVD totale $VISIB_{t0}$	
AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
* Conservatrice, sécuritaire	● Coût élevé, indépendant du débit
* Garantit une bonne qualité de la route et de son fonctionnement	● Pourcentage élevé de zones de dépassement interdit sur les routes existantes
	● Tendance des conducteurs de ne pas respecter le marquage, à cause des multiples interdictions nécessaires.
	● Élimine les zones courtes où on pourrait dépasser des véhicules lents et empêche certains dépassements lancés
	● Difficile à faire respecter
DVD minimale $VISIB_{tc}$	
AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
* Maximise le nombre de zones de dépassement	● Permet un fonctionnement au niveau critique
* Minimise les coûts de marquage	● Offre moins de marge de manœuvre si le conducteur juge mal la situation
* Permet de dépasser les véhicules lents et d'effectuer des dépassements lancés	
* Les conducteurs respectent mieux le marquage si la zone de dépassement permis est adéquate	● Tend à forcer les conducteurs à finir en zone interdite

**Tableau 17: Avantages et inconvénients des deux distances de visibilité.**

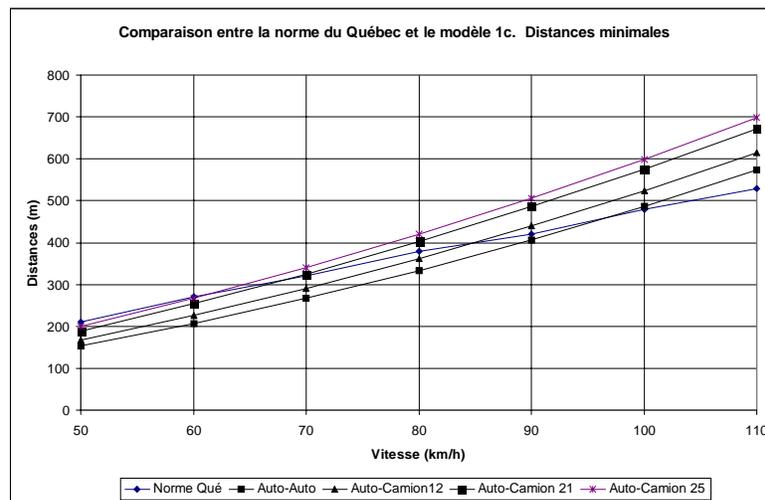
### 7.2.2. Analyse pour les véhicules lourds

Les trois tableaux détaillés sont donnés en annexe C, nous présentons ici un résumé des résultats essentiels.

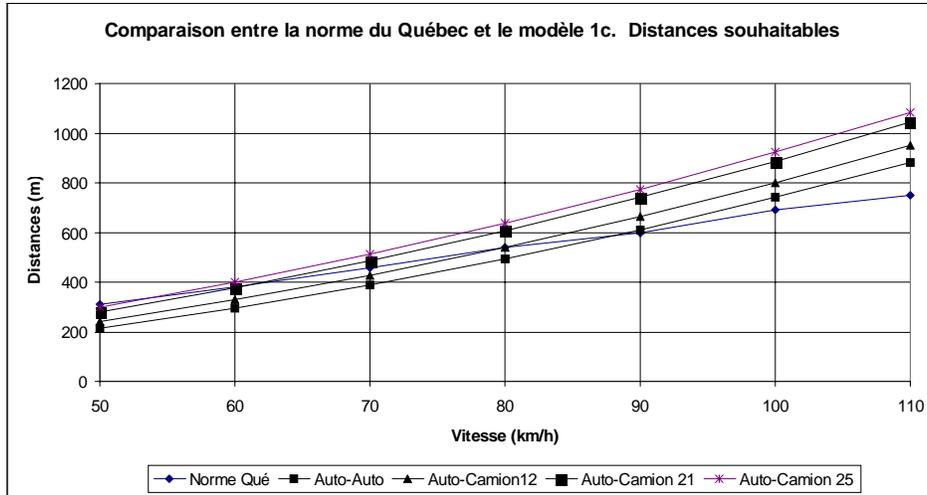
Le Tableau 18, la Figure 31 et la Figure 32 permettent de comparer les résultats obtenus avec le modèle pour les véhicules lourds de trois longueurs différentes et la norme du Québec actuelle.

Vitesse Vc km/h	Norme Québec		Auto-Auto		Auto-Camion 12m		Auto- Camion 21m		Auto Camion 25 m	
	souhaitable	minimum	compromis	minimum	compromis	minimum	compromis	minimum	compromis	minimum
50	310	210	213	152	241	168	280	189	298	199
60	380	270	295	206	329	226	379	254	399	266
70	460	320	388	267	429	291	487	325	512	340
80	540	380	494	334	541	362	608	402	637	420
90	600	420	611	407	665	440	741	486	774	506
100	690	480	741	487	801	524	886	576	923	599
110	750	530	883	573	950	614	1043	672	1085	698

**Tableau 18: Comparaison entre les distances de visibilité nécessaires pour dépasser des véhicules plus longs et la norme actuelle.**



**Figure 31: Distances de visibilité minimales nécessaires pour les véhicules lourds.**



**Figure 32: Distances de visibilité de "compromis" pour les véhicules lourds.**

Pour fins de comparaison, nous avons utilisé ici les distances de "compromis" calculés selon l'approche AASHTO.

Si les routes sont conçues selon la distance totale  $VISIB_{t0}$  alors les véhicules particuliers disposeraient d'une distance de visibilité suffisante pour dépasser les véhicules longs car ils auraient toujours assez de visibilité pour abandonner ou compléter le dépassement.

Il est évident que si on conçoit les routes en se basant sur la distance minimale de visibilité au point critique et ceci pour des véhicules particuliers, le dépassement de véhicules lourds serait problématique. La décision de tenir compte d'un dépassement d'un camion par un véhicule particulier est un choix "politique" car ce choix aura une influence directe sur les coûts des routes.

### 7.3. LES DISTANCES DE VISIBILITÉ POUR LE MARQUAGE DES ROUTES

Le problème du marquage est différent de celui de la conception routière. Les paragraphes suivants décrivent le problème.

#### 7.3.1. Introduction

Au fil des années, une certaine confusion s'est établie en ce qui a trait aux distances de visibilité de dépassement pour la conception et pour le marquage. Cette confusion provient en partie du

fait que différentes hypothèses ont été utilisées pour les deux distances et qu'elles n'ont pas été expliquées dans les manuels, de sorte que les raisons pour les différences étaient largement inconnues. De plus, les lois concernant le dépassement et le marquage ne sont pas uniformes à travers l'Amérique du Nord. Avant de présenter les distances de visibilité pour le marquage, il convient de clarifier certains points importants reliés aux codes de la sécurité routière et au comportement que l'on attend du conducteur.

## LES CODES DE LA ROUTE

Les codes sont en général relativement peu explicites en ce qui a trait au comportement du conducteur lors du dépassement et notamment au retour à la voie de droite. Toutes les provinces au Canada (excepté l'Ontario et Terre-neuve, (AAA, 1995)) interdisent de rouler à gauche d'une ligne continue. Toute la manœuvre de dépassement doit donc s'effectuer dans une zone où le dépassement est permis. À travers les États-Unis ce principe n'est pas uniforme non plus.

En fait, on distingue entre le concept de la zone longue et la zone courte:

- **Zone longue:** Dans ce cas, on permet de finir le dépassement au-delà du début de la zone marquée dépassement interdit. Les DVD à utiliser pour établir ce marquage sont plus longues que celles dans les normes afin de prévoir une zone « tampon ». Aucun état américain (FHWA, 1979) n'utilise ce principe pour marquer les zones, mais certains permettent (4 en 1995) que le conducteur finisse le dépassement dans la zone marquée interdit. Si on ne prévoit pas de zone tampon, cette pratique n'est pas sécuritaire. De plus, il est difficile de vérifier si un conducteur a commencé, légalement ou non, son dépassement. Le conducteur habitué au marquage fait selon le principe de la zone longue (retour après le début de la zone marquée dépassement interdit), devrait être informé qu'il n'a pas le droit de le faire dans la plupart des États et au Canada.
- **Zone courte:** Le dépassement doit s'effectuer (initier et finir) dans la zone de dépassement permis. Le véhicule dépassant doit donc retourner dans la voie de droite avant le marquage continu. Malheureusement, la longueur minimale d'une zone de dépassement de 100 m (au Canada) ou de 400' (ÉU) n'est pas suffisante pour effectuer la manœuvre selon les hypothèses de la norme AASHTO. Les conducteurs sont donc, dans certains cas, forcés d'empiéter soit sur le début, soit sur la fin de la ligne continue. Un problème fondamental est aussi la difficulté de voir le début de la ligne continue; certains conducteurs sont donc piégés.

D'ailleurs, selon une étude du FHWA (1979) la plupart des conducteurs pensent qu'il faut se comporter selon le principe de la zone courte. Quoiqu'il en soit, le conducteur ne sait

généralement pas selon quel principe le marquage a été fait et peut donc, dans certains États, avoir des contraventions, voire des accidents en se comportant comme il est habitué de le faire dans son État. Ceci contrevient directement au principe de l'uniformité et des attentes des conducteurs. On s'aperçoit donc qu'il faut, avant de détailler un modèle sur la conception et sur le marquage, d'une part, clairement définir ce qu'on attend du conducteur et d'autre part, le lui faire savoir.

Le code de la sécurité routière du Québec traite du dépassement dans plusieurs paragraphes. Ces paragraphes créent le comportement des conducteurs qui doit être conforme à la loi. À propos du problème de la ligne continue, le code dit seulement:

« Le conducteur d'un véhicule routier ne peut franchir aucune des lignes de marquage de voie suivantes:

- une ligne continue simple;
- une ligne continue double;
- une ligne double formée d'une ligne discontinue et d'une ligne continue située du côté de la voie où circule le véhicule routier.

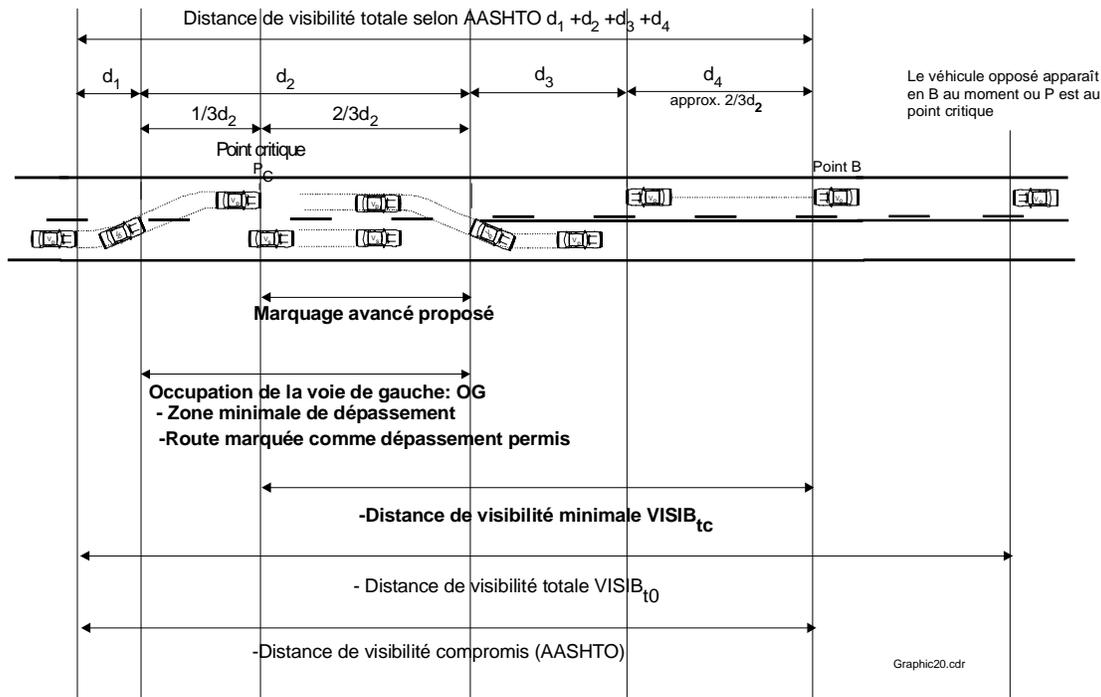
Bien que ce ne soit pas stipulé précisément, le conducteur ne peut franchir une ligne continue ni de gauche ni de droite. Donc l'interprétation de la « zone longue » ne s'applique pas au Québec. La jurisprudence le prouve d'ailleurs. Dans le procès « Ville de Lennoxville contre C. M. Masse (1988-242) il a été décidé en 1989 que « lorsqu'une ligne discontinue devient continue, un dépassement doit se faire complètement à l'intérieur de la ligne discontinue ».

Il y a donc certains points importants qui se dégagent de cette discussion:

- \* La longueur minimale des zones de dépassement permis dans la norme actuelle est trop courte;
- \* On ne voit pas la fin de la zone de dépassement permis;
- \* Le conducteur a des difficultés à juger la distance et le temps nécessaires pour finir la manœuvre de dépassement;
- \* L'intention légale du marquage n'est pas claire pour tous les conducteurs.

### 7.3.2. Éléments du marquage proposé

Dans la Figure 33, une terminologie uniforme est proposée quant aux manœuvres de dépassement (voir aussi les travaux de FHWA 1978b).



**Figure 33: Distances de visibilité pour le marquage.**

La problématique du marquage a été bien décrite par L'AASHTO dans les années 1940. En effet, L'AASHTO (1940a) constate que la distance totale développée à l'aide du modèle serait souhaitable aussi pour le marquage et ceci donnerait un fonctionnement sécuritaire si la circulation se comporte comme prévu par le modèle. Mais ces distances sont très grandes en pratique. Par exemple, à une vitesse de conception de 100 km/h, on devrait voir sur une distance de 970 mètres. Si on marquait la route en se basant sur cette distance de visibilité, de nombreuses parties de la route devraient être marquées comme dépassement interdit. Si les conducteurs respectaient les règlements et restaient à droite de la ligne continue, l'utilité de la route serait fortement réduite. Mais il y a des cas où:

- le conducteur dépassant peut effectuer sa manœuvre sans ralentir (dépassement lancé) donc sans réduire sa vitesse et sans se ranger derrière le véhicule à dépasser. La différence de vitesse est normalement plus élevée que 15 km/h, ce qui réduit le temps

de dépassement et la DVD. Le genre de dépassement a en effet une influence non négligeable. Le marquage selon la manœuvre du dépassement avec attente serait une hypothèse de comportement qui donnerait un fonctionnement sécuritaire, mais empêcherait des dépassements lancés. Ce genre de manœuvre a souvent lieu sur des routes où le débit est faible et où on a une distribution directionnelle favorable du trafic. Les dépassements avec attente augmentent en nombre si la densité et le débit augmentent.

- le véhicule dépassé roule plus lentement que  $V_{\text{conception}} - 15$  (km/h). La distance de visibilité nécessaire serait alors réduite comme l'analyse dans la première partie du rapport l'a montré.
- le véhicule opposé roule à une vitesse plus faible. Cet aspect a un effet important sur la distance de visibilité requise.

Dans tous ces cas, les conducteurs seraient empêchés d'effectuer leur dépassement, même si c'était possible et sécuritaire de le faire. Il serait donc souhaitable de trouver un compromis entre la sécurité maximale telle qu'elle serait donnée par un marquage selon la DVD totale (au moment  $t_0$ ) et les demandes de la circulation réelle sur la route.

Il s'agit donc de trouver des hypothèses qui décrivent les conditions d'une manœuvre de dépassement réaliste et pratique pour le marquage. La fréquence des manœuvres nécessitant des distances DVD plus courtes que le maximum ne devrait pas être trop élevée, d'une part pour ne pas trop limiter la capacité de la route et d'autre part pour ne pas frustrer trop de conducteurs qui auraient pu dépasser (par exemple un véhicule plus lent que dans l'hypothèse).

Il est donc généralement accepté que les distances pour le marquage soient plus courtes que pour la conception des routes. Cette différence est justifiable sur la base de l'opération de la route. Il est possible de baser les deux distances sur un même modèle mathématique. On baserait la conception soit sur la distance de visibilité au moment  $t_0$ , soit sur la distance correspondant à la somme des 4 distances du modèle AASHTO de 1994 (appelé ici distance de visibilité de compromis) ou encore sur la distance de visibilité au moment  $t_c$ . Pour le marquage, on se sert du même modèle mais on ne prendrait que certaines parties correspondant à certaines phases de la manœuvre. Ces idées sont développées dans les paragraphes suivants.

### 7.3.3. Les opportunités de dépassement

On marque les zones de dépassement interdit si la distance de visibilité  $VISIB_{tc}$  n'est plus disponible. Les distances qui restent entre deux zones de dépassement interdit ne sont pas nécessairement assez longues pour permettre le dépassement. On a donc fixé des longueurs minimales des zones de dépassement permis. Ces zones sont actuellement de 100 m au Canada et de 400 pieds aux États-Unis.

Ces distances sont trop courtes si on se base sur les hypothèses du modèle 1c traité dans la première partie de ce rapport. Les distances relativement courtes dans les normes actuelles proviennent du fait qu'on ne voulait pas interdire des dépassements d'un véhicule très lent, donc offrir autant de possibilités de dépassement que possible. Cette pratique peut induire le conducteur en erreur car il pense qu'il a une distance suffisante pour dépasser légalement lorsqu'il voit le début de la zone. De plus, il s'avère que la distance minimale nécessaire à un véhicule P pour dépasser un camion semi-remorque roulant à 35 km/h (ce qui est la définition d'un véhicule lent) est d'environ 100 mètres sur une route affichée à 90 km/h (voir tableau en annexe D). La distance minimale actuelle est donc assez longue pour permettre légalement ce genre de dépassement. Cependant, elle ne l'est pas pour dépasser un véhicule roulant à 75 km/h, ce qui demanderait une distance de 270 mètres.

Pour uniformiser, il faudrait prévoir au moins une zone d'opportunité de dépassement d'une longueur correspondant à la distance parcourue pendant l'occupation de la voie de gauche (OG) dans notre modèle, ou de  $d_2$  dans le modèle de l'AASHTO. Certaines provinces ont déjà augmenté les longueurs minimales des zones de dépassement. En effet, par exemple en Saskatchewan, Jeanes (1989) a trouvé qu'il faut 330 mètres à 100 km/h pour effectuer le dépassement, donc on a choisi cette longueur comme longueur minimale des zones de dépassement. Il faut noter également que si on a conçu la route pour la distance  $DVD_{minimale}$ , il faut prévoir des opportunités de dépassement assez fréquentes (intervalles de 2 à 3 km). Le Tableau 19 donne les zones de dépassement qui correspondent à l'occupation de la voie de gauche (OG).

On calcule la distance OG selon les hypothèses suivantes: un véhicule I roule à la vitesse  $v_I = v_a - 15$  km/h sur une route avec une vitesse affichée de  $v_a$ . Le marquage axial interrompu devrait avoir au moins une longueur OG qui permet à un véhicule P roulant à la vitesse  $v_P = v_a$  de dépasser

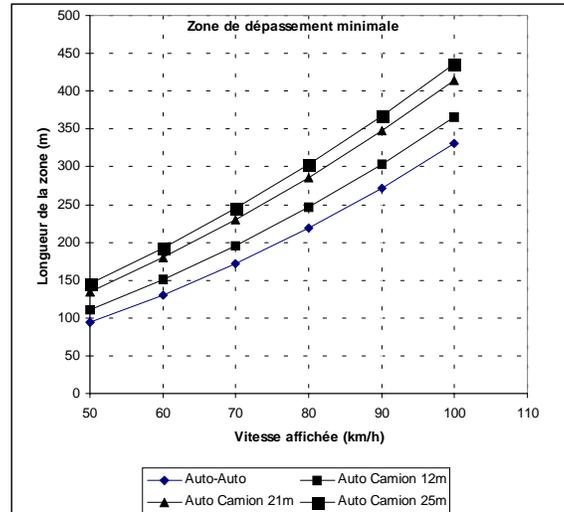
ce véhicule tout en supposant que le véhicule O venant dans le sens opposé roule à la vitesse  $v_o=v_a$ . Ces hypothèses sont un peu différentes que celles adoptées pour la conception géométrique des routes où nous avons supposé qu'une route avec la vitesse affichée  $v_a$  devrait être conçue pour une vitesse de conception  $v_c=v_a+10$  km/h et que le véhicule P roule à une vitesse  $v_p=v_c$ , tandis que le véhicule I roule à  $v_i=v_p-15$  km/h et le véhicule O à la vitesse affichée  $v_a$ . Cette différence dans la vitesse du véhicule P provient du fait que le marquage, ayant force de loi, ne devrait pas encourager un conducteur à rouler au-delà de la vitesse affichée. Pour la conception par contre, nous tenons compte du fait que la vitesse du 85<sup>e</sup> centile dépasse en général la vitesse affichée d'au moins 10 km/h.

Ces distances ont été calculées pour une largeur de voie de 3,7 mètres. Comme nous l'avons mentionné précédemment, si les voies sont moins larges, la longueur OG peut augmenter entre 10 et 20 mètres (voir à ce sujet la discussion dans le chapitre sur la décomposition de la manœuvre en phases).

La Figure 34 illustre ces distances par rapport à la vitesse affichée.

Vitesse $V_a$ km/h	$V_p=V_a$	$V_i$	$V_o$	Auto-Auto	Auto Camion 12m	Auto Camion 21m	Auto Camion 25m
50	50	35	50	94	111	135	146
60	60	45	60	130	151	180	193
70	70	55	70	172	196	230	245
80	80	65	80	219	247	286	303
90	90	75	90	272	303	347	367
100	100	85	100	331	366	415	436

**Tableau 19: Longueurs minimales des zones de dépassement permis.**



**Figure 34: Longueurs minimales des zones de dépassement permis par rapport à la vitesse affichée.**

On s'aperçoit que la longueur minimale d'une zone de dépassement permis devrait être modulée selon la vitesse affichée. D'autre part, on remarque que pour une route d'une vitesse affichée de 50 km/h la longueur de 100 mètres serait suffisante.

Il faudrait prévoir les longueurs du Tableau 19 si on part du point de vue strictement légal et si on veut s'assurer qu'un conducteur qui dépasse un véhicule roulant à une vitesse de 15 km/h en dessous de la vitesse affichée puisse le faire à l'intérieur de la zone marquée "dépassement permis". Cependant, à la lumière de ce qui a été dit précédemment sur les différents types de dépassement et de ce qui a été développé en annexe D, la décision quant à la longueur OG à adopter pour le marquage mérite quelques réflexions supplémentaires ainsi que quelques observations sur le comportement réel des conducteurs sur les lieux.

#### 7.3.4. La longueur minimale d'une zone interdite

On considère normalement comme suffisante une longueur correspondant à 2 secondes à la vitesse (85<sup>e</sup> centile ou vitesse légale).

### 7.3.5. Marquage pour indiquer au conducteur la fin de la zone de dépassement (zone de marquage avancé)

Un problème fondamental lors du dépassement est la difficulté de voir à temps la fin de la zone de dépassement permis. Une approche unifiée devrait prévoir un moyen pour éliminer l'incertitude du conducteur à ce niveau. Ici aussi, on devrait utiliser le modèle mathématique pour le dépassement afin d'en déterminer la longueur.

Le conducteur devrait savoir à partir de quel moment il ne faudrait plus d'une part initier une manœuvre de dépassement, et d'autre part la compléter s'il y a lieu. Cette distance est la distance nécessaire pour compléter la manœuvre donnée sur la Figure 33 et est égale à la distance  $OG_2$  dans le modèle cinématique ou à  $2/3 d_2$  dans la terminologie de l'AASHTO. Elle se situe donc entre le point critique et le début de la ligne continue. Plusieurs variantes sont possibles pour faire savoir au conducteur qu'il faut revenir dans la voie de droite ou qu'il ne faut plus initier un dépassement. Mentionnons d'abord les flèches de rabattement utilisées en Europe. Selon FHWA (1979) cette solution est peu économique car les flèches doivent être appliquées à la main et il semble aussi qu'elles soient mal comprises. Cette opinion n'est pas partagée par tout le monde et il faudrait faire des essais in situ avant de prendre une décision. Une autre solution est un marquage longitudinal dont les traits sont plus rapprochés et plus courts conjointement avec un panneau au début de la zone de dépassement interdit. Cette solution a été préconisée par FHWA (1979) et elle semble économique avec un rapport bénéfice/coût d'au moins 3.

Le Tableau 20 donne la longueur de la zone de marquage avancé pour le cas d'un dépassement auto-auto.

Vitesse $V_a$ (km/h)	50	60	70	80	90	100
Zone avancée $OG_2$ (m)	55	73	92	114	138	163

**Tableau 20: Longueur de la zone de marquage avancé par rapport à la vitesse affichée.**

## 8. CONCLUSIONS

La norme actuelle de visibilité de dépassement est basée sur un modèle empirique qui ne permet pas d'évaluer l'influence que peuvent avoir les différentes variables sur la distance de visibilité. De plus, on n'utilise pas le même modèle pour la conception et le marquage des routes. Plusieurs questions quant aux pratiques de marquage et à l'utilisation de la distance de visibilité pour la conception des routes se posent aujourd'hui, auxquelles on ne peut pas donner de réponses dans le cadre des normes existantes.

Il est donc indispensable de développer un modèle unique pour la conception routière et pour le marquage basé sur des hypothèses qui reflètent fidèlement le comportement du conducteur lorsqu'il dépasse.

Dans le présent rapport, nous décrivons le développement d'un modèle unique qui remplit ces conditions. C'est un modèle qui représente un dépassement avec attente, où le conducteur accélère jusqu'à une vitesse donnée (la vitesse désirée) au début du dépassement et finit à vitesse constante.

Les points essentiels qui ressortent de ce travail de recherche sont les suivants:

- Les hypothèses de base utilisées pour la modélisation correspondent à celles énoncées dans la littérature scientifique récente;
- Le modèle proposé donne des distances de visibilité de dépassement réalistes et comparables à celles des autres normes;
- Il est possible de baser les distances de visibilité pour la conception routière et pour le marquage sur le même modèle;
- Trois distances différentes de visibilité ont été déterminées pour la conception routière, parmi lesquelles il s'agit de faire un choix. Ce sont premièrement, la distance totale permettant de compléter en sécurité le dépassement déjà commencé, deuxièmement, la distance de visibilité minimale qui garantit au conducteur à tout moment une distance suffisante pour abandonner ou pour compléter le dépassement, selon ce qui est plus court, et finalement une distance de compromis basée sur l'approche de l'AASHTO.

Le tableau suivant donne ces distances:

Vitesse Vc (km/h)	Québec souhaitable selon AASHTO	Québec minimum	modèle 1c minimum	modèle 1c souhaitable	modèle 1c compromis selon AASHTO
50	310	210	152	271	213
60	380	270	206	379	295
70	460	320	267	504	388
80	540	380	334	646	494
90	600	420	407	806	611
100	690	480	487	984	741
110	750	530	573	1181	883

**Tableau 21: Distances de visibilité de dépassement pour la conception routière.**

- Pour le marquage, on utilisera la distance minimale de visibilité VISIB<sub>tc</sub>, distance qui est à la fois sécuritaire et efficace du point de vue fonctionnement de la route. Le tableau suivant donne ces distances (auto-auto):

Vitesse V <sub>a</sub> (km/h)	50	60	70	80	90	100
VISIB <sub>tc</sub> (m)	172	228	290	358	433	514
Norme Québec actuelle	150	200	250	300	350	400

**Tableau 22: Distances de visibilité de dépassement pour le marquage des routes.**

- La longueur minimale d'une zone de dépassement permis peut être développée à l'aide des différentes phases de dépassement obtenues par le modèle. Ces longueurs sont:

Vitesse V <sub>a</sub> (km/h)	50	60	70	80	90	100
Zone OG (m)	94	130	172	219	272	331

**Tableau 23: Longueur minimale d'une zone de dépassement permis.**

- Le marquage avancé avant le début de la ligne continue est donné par la distance OG<sub>2</sub> du modèle:

Vitesse V <sub>a</sub> (km/h)	50	60	70	80	90	100
Zone OG <sub>2</sub> (m)	55	73	92	114	138	163

**Tableau 24: Longueur du marquage avancé avant le début de la ligne continue.**

- L'influence des camions est assez importante pour la conception et pour le marquage des routes. Dans le Tableau 25 nous avons utilisé les distances de visibilité de compromis pour fins de comparaison.

Vitesse $V_c$ km/h	Québec		Auto-Auto		Auto-Camion 12m		Auto- Camion 21m		Auto Camion 25 m	
	souhaitable	minimum	compromis	minimum	compromis	minimum	compromis	minimum	compromis	minimum
50	310	210	213	152	241	168	280	189	298	199
60	380	270	295	206	329	226	379	254	399	266
70	460	320	388	267	429	291	487	325	512	340
80	540	380	494	334	541	362	608	402	637	420
90	600	420	611	407	665	440	741	486	774	506
100	690	480	741	487	801	524	886	576	923	599
110	750	530	883	573	950	614	1043	672	1085	698

**Tableau 25: Influence des camions sur la distance de visibilité de dépassement pour la conception routière.**

Vitesse $V_a$ (km/h)	Auto-Auto	Auto-camion12	Auto-camion21	Auto-camion25
50	94	111	135	146
60	130	151	180	193
70	172	196	230	245
80	219	247	286	303
90	272	303	347	367
100	331	366	415	436

**Tableau 26: Longueurs minimales des zones de dépassement permis en fonction de la longueur du véhicule à dépasser (voie de 3,7 m de largeur).**



## 9. RÉFÉRENCES

- AASHTO . 1940a. "A Policy on Criteria for Marking and Signing No-Passing Zones on Two and Three Lane Roads." *AASHTO, Wash. D. C. 9 Pages. (AQ131)* .  
SE329.
- . 1940b. "A Policy on Sight Distance for Highways." *AASHTO*. 26 pages.  
SE299.
- . 1974. "Highway Design and Operational Practices Related to Highway Safety." *AASHTO, Wash. D. C.* 92 pages.  
SE126.
- ADI Ltd. 1989. "Passing Maneuvers and Passing Lanes: Design, Operational & Safety Evaluations." *Prepared for the Traffic Safety Standards & Research Transport Canada*.  
SE628.
- ARRB . 1981. "Overtaking Behavior on Australian two-lane Rural Highways." *Australian Road Research Board. Special Report No. 20*.  
SE569.
- ATC . 1987. "Normes Canadiennes De Conception Geometrique Des Routes." *ATC Et AQTR*.  
SE639.
- . 1991. "The Effect of Vehicle Length on Traffic on Canadian two-lane, Two Way Roads." *ATC Technical Report*. 155 pages.  
SE577.
- AUSTROADS 1993 "Rural Road Design. Guide to the Geometric Design of Rural Roads." *Austrroads*, Sydney Australia.
- BAASS, K. 1996 "Étude comparative des normes de distances de visibilité d'arrêt, d'anticipation, de dépassement et aux carrefours. Volume I. Rapport P1958 du Centre de développement technologique École Polytechnique de Montréal. 192 pages
- BAASS, K. 1996 "Étude comparative des normes de distances de visibilité: Questions particulières. Volume II. Rapport P1958 du Centre de développement technologique École Polytechnique de Montréal. 122 pages.
- BAREKET, Z. and P. S. FANCHER. 1993. "Effect of Large Trucks on Traffic Safety and Operations." *The University of Michigan Transportation Research Institute UMTRI-93-19*.  
T1263.
- BARTON, R. A. & M. J. 1998. "A Study of Long Combination Vehicles on Two-Lane Highways." *Prepared for the 77 Annual Meeting of the TRB*:12 pages.  
T1266.

- BRAULT, M. 1995 " Enquête pilote: Relevés de vitesse sur les routes du Québec 1993-1994." Société de l'assurance automobile du Québec. 85 pages.
- BRYANT, J. F. 1978. "Driver Judgment in Overtaking Maneuvers." *ARRB Proceedings, Vol 9, Part 5, 1978.*:p. 245-53.  
SE581.
- DUMARTINET, P. R. A. 1988. "Marquage Et Sécurité Sur Routes à Deux Voies." *ENTPE Lyon. CETE De Lyon France*:133  
.T1265.
- FARBER, E. 1967. "Overtaking and Passing on Two-Lane Rural Highways." *U.S. Dept. of Transportation, Bureau of Public Roads*:44.  
T1264.
- . 1969. "Passing Behavior on Public Highways Under Day-Time and Nighttime Conditions." *Transportation Research Board, Wash. D.C. TRB REC 292.*:p.11-23.  
SE544.
- FHWA . 1978a. "Determination of Motor Vehicle Eye Height for Highway Design." *Final Report. FHWA-RD-78-066. 42 P. 2 Copies. (SE341) .*  
FH32.
- . 1978b. "Passing and No-Passing Zones: Signs, Markings and Warrants." *Federal Highway Administration, Washington, D. C. FHWA-RD-79-05. (AQ99) (SE330).*  
FH153.
- . 1979. "Highway Sight-Distance Requirements." *Truck Applications. FHWA-RD-79-026. Federal Highway Administration. Wash. D. C. 35 Pages. (FH431) .*  
SE499.
- . 1981. "Comparison of Signs and Markings for Passing/No Passing Zones FHWA-RD-81-094." (SE582) *Federal Highway Administration, Washington D.C., 8 pages.*  
FH432.
- . 1981. "Comparison of Signs and Markings for Passing/No Passing Zones. Final Report. FHWA-RD-81-095." *Federal Highway Administration, Washington D.C., 33 pages.*
- . 1990. "Truck Characteristics for Use in Highway Design and Operation." *Federal Highway Administration, Wash. D. C. FHWA-RD-89-226. 243 Pages. (FH376) .*  
SE503.
- FORBES, G. J. 1990. "The Origin of Minimum Sight Distances for No-Passing Zones." *ITE Journal. Dec 1990.*:p. 20-24.  
SE506.
- GARBER, N. J. e. al. 1984. "Passing Requirements for Two-Lane Highways in Mountainous

- Areas." *TRB REC 956. Transportation Research Board. Wash. D. C.* pp 33-36 .  
SE322.
- GERICKE, O. F. e. al. 1981. "Effect of Increased Truck Size and Weight on Rural Highway Geometric Design Principles and Practices." *TRB REC 806. Transportation Research Board. Wash. D. C.* pp 13-21.  
SE332.
- GLENNON, J. C. "Geometric Design- Sight Distance." *The Traffic Safety Toolbox. ITE*:109-20.  
T1244.
- . 1988. "New and Improved Model of Passing Sight Distance on Two-Lane Highways." *Transportation Research Board, Wash. D. C. TRB REC 1195*.:p.132-37.  
SE510.
- HARWOOD, D. W. e. al. 1989. "Passing Sight Distance Design for Passenger Cars and Trucks." *Transportation Research Board, Wash. D. C. TRB REC 1208*.:p. 59-69.  
SE551.
- HASSAN, Y., S. M. EASA, and A. E. HALIM. 1996. "Passing Sight Distance on Two-Lane Highways: Review and Revision." *Transportation Research A* 30(6):453-67.  
T1249.
- HASSAN, Y., A. E. HALIM, and S. M. EASA. 1997. "Design Considerations for Passing Sight Distance and Passing Zones." :22.  
T1246.
- HEIMBACH, C. L. & al. 1973. "Relating No-Passing Zone Configurations on Rural Two-Lane Highways to Throughput Traffic." *Highway Research Record 437. Highway Research Board, Washington D.C. 1973. Pages 9-19.*  
SE433.
- HERMAN, R. and LAM T. 1972. "A Dilemma in Overtaking on Two-Lane Rods." *Traffic Engineering & Control*(October):276-82.  
T1250.
- HUGHES, W. E., S. JOSHUA, and H. W. McGEE. 1992. "Study Designs for Passing Sight Distance Requirements." *FHWA-RD-91-078*:152.  
T1251.
- JEANES, L. W. and B. D. MARTIN. 1989. "No Passing Zones on Saskatchewan Highways." :18.  
T1252.
- KHASNABIS, S. 1986. "Operational and Safety Problems of Truck in No-Passing Zones on Two-Lane Rural Highways." *TRB REC 1052. Transportation Research Board. Wash. D. C.* pp 36-44.  
SE327.

- KRUMINS, I. V. 1985a. "No-Passing Zone Design for Two-Lane Rural Highways." *Transportation Forum Vol 2-3*:p. 5-9. SE596.
- . 1985b. "Passing Sight Distance Requirements for Current and Projected Traffic Operations." *Tribune Des Transports Vol 2-3*:p. 23-29. SE595.
- LAY, M. G. 1986. "Handbook of Road Technology." *Volume 2. Chapter 19, 20. Gordon and Breach Science Publishers. New York, London.* SE637.
- LIEBERMAN, E. B. 1982. "Model for Calculating Safe Passing Distances on Two Lane Rural Roads." *Transportation Research Board. Wash. D. C. TRB REC 869*:p.70-76. SE518.
- LIU, CH. and R. HERMAN. 1996. "The Passing Sight Distance and Overtaking Dilemma on Two-Lane Roads." *Presented at the 75th Annual Meeting of the TRB*:19. T1253.
- LOUIS, L. J. 1977. "Sight Distance Requirements of Rural Roads-A Review." *Australian Road Research June 1977. Vol 7. No 2*:p.31-43. SE520.
- MTQ . 1993. "Normes Sur La Distance De Visibilité." *13 Pages. Ministère Des Transports Du Québec.* SE610.
- NAVIN, F. 1990. "Safety Factors for Road Design: Can They Be Estimated? Transportation Research Board." *Wash. D. C. TRR REC 1280*:p. 181-89. SE523.
- OHENE, F. A. e. al. 1988. "Minimum Passing Sight Distance for Completing or Aborting the Passing Maneuver." *ITE Journal*.(July 1988):p. 29-33. SE612.
- PRISK, C. W. 1941. "Passing Practices on Rural Highways." *Proceedings of the 21. Annual Meeting of the Highway Research Board. Wash. D. C.*:p. 366-78. SE631.
- PROUDLOVE, J. A. 1990. "Comparison of International Practices in the Use of No-Passing Controls." *Transportation Research Board. TRB REC 1280*:p.173180. SE526.
- RILETT, L. R. 1990. "Mechanics of the Passing Maneuver and the Impact of Large Trucks." *Transportation Research A 24(2)*:121-28. T1256.

- SAITO, M. 1984. "Evaluation of the Adequacy of the MUTCD Minimum Passing Sight Distance Requirement for Aborting the Passing Maneuver." *ITE Journal, Jan 1984.*:p.18-22.  
SE527.
- SPARKS, G. A. e. al. 1993. "Effect of Vehicle Length on Passing Operations." *Journal of Transportation Engineering. Vol 119, No. 2.*:p. 272-83.  
SE619.
- TROUTBECK, R. 1980. "Overtaking Design Sight Distance for Rural Road Design." *Proceedings ARRB, 1980.*:p.84-98.  
SE626.
- . 1982a. "Overtaking Rates on Low Volume Roads." *ARRB Proceedings Vol 11, Part 4, 1982.*:p. 167-74.  
SE625.
- TROUTBECK, R. J. 1982b. "Effect of Overtaken Vehicle Speed and Length on Overtaking Behavior on Two-Lane Rural Roads." *Traffic Engineering & Control*(June):318-28.  
T1257.
- VALKENBURG, G. W. 1971. "Criteria for No-Passing Zones." *HRB REC 366. Transportation Research Board, Wash. D. C.*:p.1-19.  
SE531.
- WALBAUM, C. and G. SPARKS. 1998. "Reviewing Passing Sight Distance Theory and Practice in Saskatchewan." *1998 Annual Conference of the Transportation Association of Canada*:22.  
T1262.
- WEAVER, G. D. e. al. 1919. "Advance Treatment of No-Passing Zones for Safety." .  
SE533.
- . 1972. "Design and Striping for Safe Passing Operations." *Transportation Research Board, Wash. D. C. TRB REC 390.*:p. 36-39.  
SE564.
- WEBER, W. G. 1978. "Passing Sight Distance and No-Passing Zones: Present Practice in the Light of Needs for Revision." *ITE Journal Sept. 1978.*:p.14-18.  
SE534.
- WOODS, D. L. 1979. "Benefit-Cost Analysis of Advance Treatment for No-Passing Zones." *TRB REC 737. Transportation Research Board. Wash. D. C.* pp 55-58 .  
SE323.



## ANNEXE A

Analyse de la vitesse du véhicule dépassant et de la différence de vitesse m

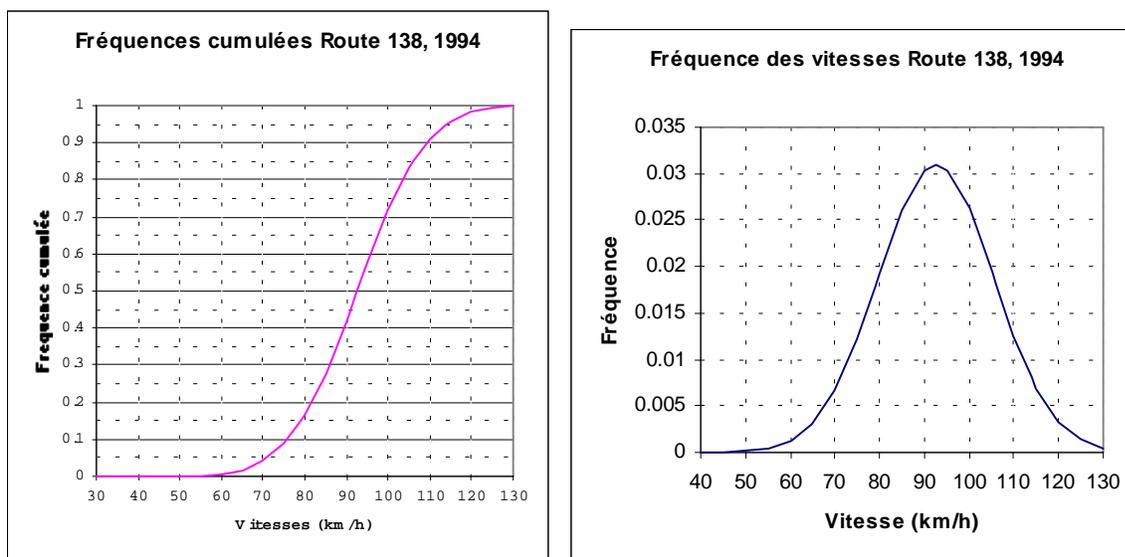
Le conducteur circulant sur une route donnée roule à une vitesse qu'il considère adaptée à la route, à sa voiture, à ses capacités, aux conditions atmosphériques et à la vitesse affichée. Cette vitesse est appelée sa "vitesse désirée". Chaque conducteur a sa propre vitesse désirée. En effet, si on mesure les vitesses à un endroit donné sur une route dans des conditions où un libre choix de vitesse peut s'effectuer (visibilité suffisante, débit faible...), on observera une distribution presque "normale" avec des conducteurs plus rapides et des conducteurs plus lents, distribution symétrique autour d'une vitesse moyenne.

Pour fins d'illustration des idées à développer, nous allons nous servir d'une route typique du Québec où des relevés de vitesses ont été faits lors d'une enquête pilote en 1994 (Brault, 1995). Il s'agit de la route 138 et les caractéristiques de la distribution des vitesses sont données dans le Tableau 27 suivant.

	débit DJMA	Vitesse affichée	Vitesse moyenne	V <sub>15</sub>	V <sub>85</sub>	V <sub>95</sub>	Écart type
observé	2040	90	92,6	80,1	104,2	113	12,9
selon la loi normale			92,6	79,2	106	113,8	12,9

**Tableau 27: Caractéristiques de la distribution de vitesse à un endroit sur la route 138.**

En supposant une loi normale  $N(92,6;12,9)$  on obtient la Figure 35.



**Figure 35: Distribution des vitesses sur la route 138 selon la loi normale  $N(92,6;12,9)$ .**

En comparant les centiles disponibles, on réalise que cette loi de probabilité représente assez bien les observations.

Étant donné cette distribution de vitesses, on réalise qu'un véhicule rapide va rattraper les véhicules lents, et pour continuer son déplacement à la vitesse désirée, le conducteur est forcé de dépasser les véhicules plus lents.

Il sait par expérience, que le temps et la distance nécessaires pour dépasser dépendent de sa vitesse désirée et de la vitesse du véhicule à dépasser. Le dépassement d'un tracteur agricole se fait dans une distance et un temps très court. Par contre, dépasser un véhicule roulant presque à la même vitesse que lui-même demande une distance très longue. Dans ce cas, on se contente souvent de suivre le véhicule plus lent sans trop de frustrations.

La question qui se pose ici est: quelle sera la différence  $m$  entre les deux vitesses que le conducteur peut accepter? Est-ce une différence de 15 km/h comme observée par l'AASHTO ou plus faible?

Pour tenter de donner une réponse à cette question, analysons les conséquences d'un choix de la différence de vitesses  $m$  sur:

- le nombre de véhicules que l'on peut dépasser à la vitesse désirée  $v_p$ ,  $m$  étant donnée;
- le temps de dépassement nécessaire (donc aussi la distance de visibilité).

#### a) Influence de $v_p$ et de $m$ sur le temps de dépassement

Nous verrons plus loin que pour le modèle de dépassement proposé (le modèle 1c) le temps nécessaire pour compléter un dépassement peut s'écrire:

$$T_c = \frac{m}{2a} + \frac{L_i + L_p + (v_p - m) \cdot (h_1 + h_2)}{m} + t_1 \quad (s)$$

On voit que lorsque  $v_p$  augmente,  $T_c$  augmente également pour une différence de vitesse  $m$  donnée. La relation entre  $T_c$  et  $m$  est moins évidente de prime abord.

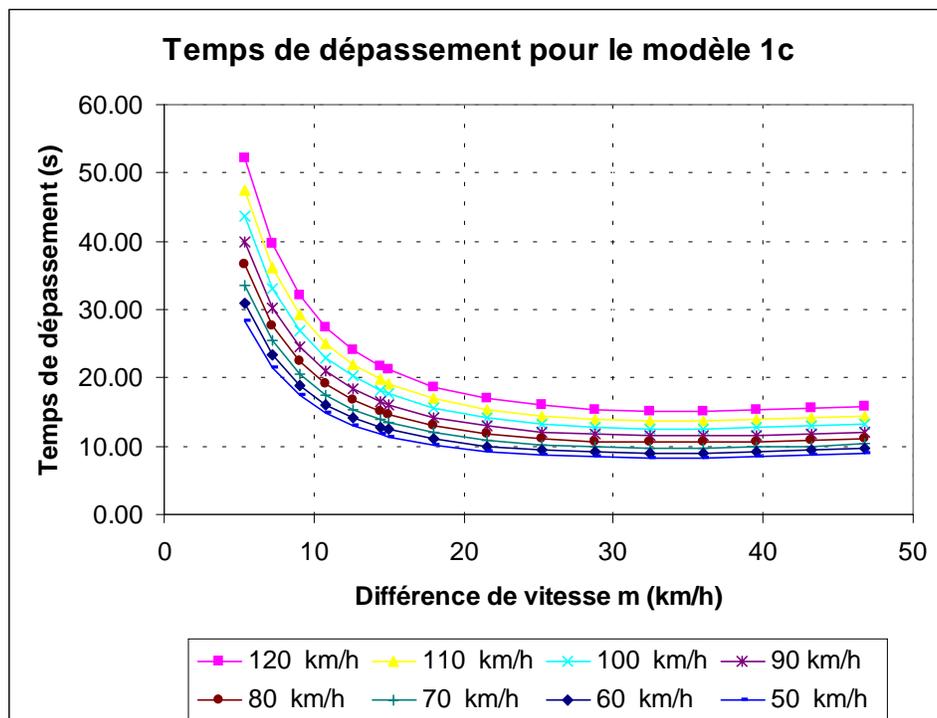
En fait,  $T_c$  a un minimum pour une différence de vitesse  $m$  selon la formule:

$$m = \sqrt{2a \cdot (L_i + L_p + v_p \cdot (h_1 + h_2))} \quad (m/s)$$

Cette valeur est proche de 33 km/h pour le modèle donné. La Figure 36 et le Tableau 28 montrent la relation entre  $m$  et le temps de dépassement  $T_c$ .

m (km/h)	V <sub>c</sub> =120 km/h vp=122	V <sub>c</sub> = 110 km/h vp=110	V <sub>c</sub> = 100 km/h vp=100	V <sub>c</sub> = 90 km/h vp=90	V <sub>c</sub> = 80 km/h vp=81	V <sub>c</sub> = 70 km/h vp=73	V <sub>c</sub> =60 km/h vp=66	V <sub>c</sub> = 50 km/h vp=59
46,8	15,9	14,4	13,2	12,1	11,1	10,3	9,6	8,9
43,2	15,6	14,1	12,9	11,8	10,9	10,0	9,3	8,7
39,6	15,3	13,9	12,7	11,6	10,7	9,9	9,2	8,5
36	15,2	13,8	12,6	11,5	10,6	9,7	9,0	8,4
32,4	15,2	13,8	12,6	11,5	10,6	9,7	9,0	8,3
28,8	15,4	14,0	12,8	11,7	10,7	9,9	9,1	8,4
25,2	16,0	14,5	13,3	12,1	11,1	10,2	9,4	8,7
21,6	17,0	15,4	14,2	12,9	11,8	10,8	10,0	9,2
18	18,8	17,0	15,6	14,3	13,0	12,0	11,0	10,1
15	21,2	19,2	17,7	16,1	14,7	13,5	12,4	11,4
14,4	21,8	19,8	18,2	16,6	15,2	13,9	12,8	11,7
12,6	24,2	22,0	20,2	18,4	16,8	15,4	14,2	13,0
10,8	27,4	25,0	23,0	21,0	19,2	17,6	16,2	14,8
9	32,2	29,4	27,0	24,6	22,5	20,6	19,0	17,4
7,2	39,6	36,1	33,2	30,3	27,7	25,4	23,4	21,4
5,4	52,1	47,6	43,8	40,0	36,6	33,6	30,9	28,3

**Tableau 28: Temps de dépassement pour différentes vitesses de conception et pour différentes valeurs de m.**



**Figure 36: Temps de dépassement pour différentes vitesses de conception et pour différentes valeurs de m.**

La Figure 36 illustre le fait que le temps de dépassement ne change plus de manière significative après le minimum et que  $T_c$  n'augmente que peu jusqu'à environ 20 km/h par rapport à la valeur minimale. Si on voulait minimiser le temps de dépassement et avec ça la distance de visibilité nécessaire, on choisirait un  $m$  d'environ 30 km/h. La question qui se pose cependant est de savoir si cette différence  $m$  est acceptable ou non.

Avant de donner une réponse à cette question, analysons encore davantage les résultats du Tableau 28.

Supposons que l'on ait conçu la route (et notamment les distances de visibilité) pour une vitesse  $V_p$  de 100 km/h et pour un  $m$  de 15 km/h. On a donc prévu une visibilité pour un temps de dépassement de 17,7 secondes selon la colonne 4 du Tableau 28 .

Le véhicule utilisé pour la conception (roulant à 100 km/h) peut dépasser tous les véhicules dont la vitesse est inférieure à  $v_p - m$  (85 km/h) puisque, pour ces cas,  $T_c$  est inférieur à 17,7 secondes. Mais il ne pourra pas dépasser en sécurité des véhicules roulant à une vitesse supérieure à  $v_p - m$ , car le temps de dépassement disponible serait alors insuffisant. Exemple:  $V_i = 91$  km/h, temps de dépassement 27 secondes.

Sur cette même route un véhicule roulant à 110 km/h pourrait dépasser tous les véhicules plus lents que 93 km/h car la différence de vitesse correspondant à 17,7 secondes de temps de dépassement est de 17 km/h. Le Tableau 29 montre quels véhicules peuvent être dépassés en sécurité par un véhicule roulant à une certaine vitesse étant donné que cette route a été conçue pour une vitesse  $v_p$  de 100 km/h et une différence de vitesses de  $m = 15$  km/h. Ces valeurs peuvent être obtenues à partir du Tableau 28 .

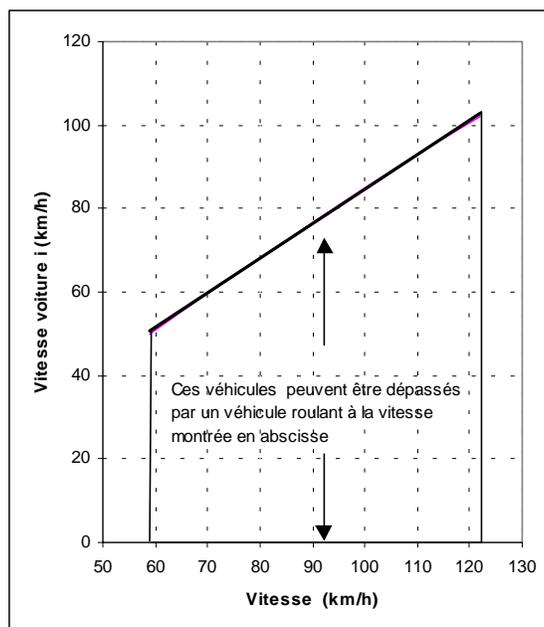
Vitesse du véhicule dépassant (km/h)	Différence de vitesse $m$ (km/h)	On peut dépasser des véhicules avec $V$ inférieure à
59	8,9	50
66	9,8	56
73	10,7	62,3
81	11,9	69,1
90	13,3	76,7
100	15	85
110	17	93
122	20	102

**Tableau 29: Vitesses des véhicules lents qui peuvent être dépassés par un véhicule roulant à une certaine vitesse  $v_p$  donnée.**

La Figure 37 montre les véhicules qui peuvent être dépassés par un véhicule ayant la vitesse montrée en abscisse, étant donné que la route a été conçue pour un véhicule avec une vitesse désirée de  $v_p = 100$  km/h et une différence de vitesse de  $m = 15$  km/h.

Le fait de réduire  $m$  augmentera le nombre de véhicules que l'on peut dépasser dans le temps  $T_c$  disponible. Cette augmentation s'achète au prix d'une distance de visibilité augmentée, donc des tronçons de route avec une distance de visibilité plus grande.

L'analyse du nombre de véhicules qu'un véhicule peut dépasser à une certaine vitesse peut contribuer à donner une réponse à la question du choix de  $v_p$  et de  $m$ .



**Figure 37: Vitesses des véhicules lents qui peuvent être dépassés par un véhicule roulant à une certaine vitesse donnée.**

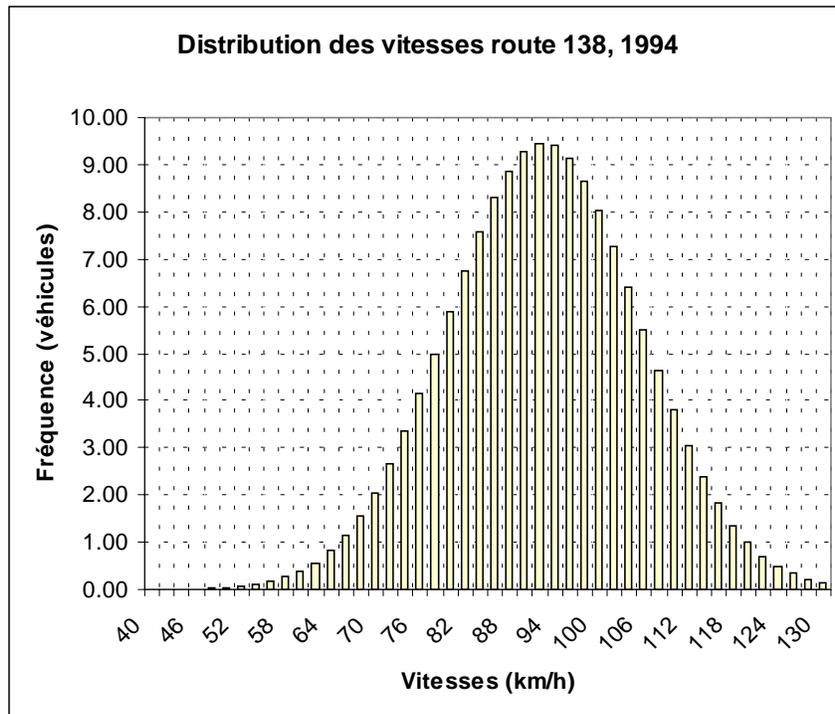
b) Le nombre de véhicules que l'on peut dépasser à la vitesse désirée  $v_p$  étant donné une différence de vitesse  $m$ .

Dans ce chapitre, nous voulons donner une réponse à la question suivante: combien de véhicules sont dépassés par un véhicule roulant à la vitesse  $v_p$ ? Pour effectuer ces calculs, il est avantageux de se baser sur une distribution de probabilité des vitesses des véhicules. Comme nous l'avons déjà dit précédemment, nous pouvons admettre que les vitesses suivent une distribution normale.

Supposons que la distribution de densité soit approximée par un histogramme de tranches de largeur de  $dv$  et que le centre de chaque tranche (classe) de l'histogramme donne la vitesse moyenne de la classe à  $(v+dv)/2$  (voir Figure 38).

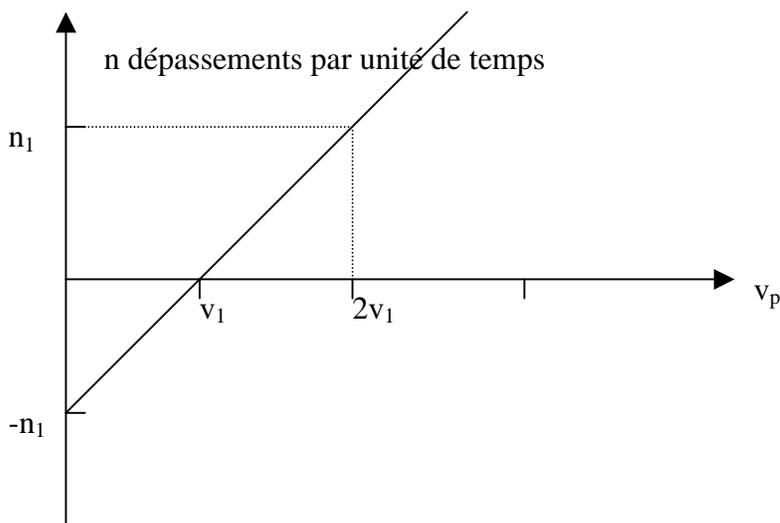
Choisissons une de ces classes, avec  $n_1$  véhicules et avec une vitesse  $v_1$ . Tous les véhicules dans cette classe roulent à la même vitesse constante  $v_1$ .

Un observateur dans une voiture roulant à la vitesse  $v_p$  dépassera les véhicules du courant  $v_1$  ou en sera dépassé, dépendant de sa propre vitesse. Pour établir une équation entre le nombre de dépassements et la vitesse  $v_p$  faisons le raisonnement suivant.



**Figure 38: Distribution des vitesses sur la route 138 sous forme d'histogramme.**

Supposons d'abord que la voiture  $p$  a une vitesse  $v_p$  nulle. Il sera donc arrêté et sera dépassé par  $n_1$  véhicules dans une unité de temps. Si le véhicule  $p$  roulait à la vitesse  $v_1$  du courant des véhicules de la classe 1, il ne serait dépassé par aucun véhicule et ne dépasserait aucun véhicule étant donné qu'il roule à la même vitesse que le courant ( $v_p = v_1$ ). Si le véhicule  $p$  roulait à une vitesse de  $2v_1$ , il dépasserait exactement  $n_1$  véhicules dans une unité de temps (sans être dépassé bien sûr). Ceci s'illustre bien à l'aide de la figure suivante:



La ligne droite reliant les trois points trouvés par l'analyse logique précédente donne le nombre de dépassements effectués par le véhicule roulant à la vitesse  $v_p$ , en dépassant un courant de véhicules ayant une vitesse constante de  $v_1$  et ayant un débit par unité de temps de  $n_1$ .

Le nombre de véhicules dépassés dans chaque classe  $j$  de l'histogramme est de:

$$N_j = \frac{n_j}{v_j} \cdot v_p - n_j$$

Le nombre de classes à considérer est de  $i$  car nous ne pouvons dépasser que les véhicules plus lents que  $v_p - m$  (sinon on n'aura pas la visibilité nécessaire):

$$i = \frac{v_p - m}{dv}$$

Le nombre total de dépassements du véhicule  $p$  sera donc donné par:

$$N = \sum_{j=1}^i \left( \frac{n_j}{v_j} \cdot v_p - n_j \right)$$

Si  $dv$  devient suffisamment petit, nous pouvons remplacer la sommation par l'intégrale et nous obtenons:

$$N = v_p \cdot \int_0^{v_p - m} \frac{Q \cdot (\text{loi normale}(v_j; \bar{v}; S))}{v} dv - Y_{(v_p - m)}$$

Dans cette formule,  $Y_{(v_p - m)}$  est l'ordonnée de la fonction de répartition (la fréquence cumulée) à la vitesse  $v_p - m$ .

À titre d'exemple, nous avons appliqué ces principes à la distribution des vitesses sur la route 138.

Pour les vitesses entre 73 et 75 km/h, on trouve à l'aide de la transformation  $z$ , la valeur de  $-1,52$  et la valeur de  $-1,36$ . Le tableau de la loi normale cumulée  $N(0,1)$  donne des probabilités cumulées de 0,93567 et de 0,91377. La fréquence des observations dans la classe entre 73 et 75 km/h serait alors de 0,0219 ou de 2,19% du total des véhicules observés (voir Tableau 30).

Si le DJMA est de 2040 véhicules par jour et si l'heure de conception contient 15% du DJMA nous obtenons un débit de 153 véhicules/h par direction en supposant une distribution de 50/50 pour le débit sur cette route.

Vitesse inférieure.	Vitesse supérieure	Vitesse . moyenne	Pourcentage	Fréquence	Cumulée	v <sub>p</sub>		
						94	100	106
39	41	40	0,00002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
41	43	42	0,00003	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
43	45	44	0,00005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
45	47	46	0,00009	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02
47	49	48	0,00016	0,02	0,05	0,02	0,03	0,03
49	51	50	0,00027	0,04	0,09	0,04	0,04	0,05
51	53	52	0,00044	0,07	0,16	0,05	0,06	0,07
53	55	54	0,00071	0,11	0,27	0,08	0,09	0,10
55	57	56	0,00111	0,17	0,44	0,12	0,13	0,15
57	59	58	0,00171	0,26	0,70	0,16	0,19	0,22
59	61	60	0,00255	0,39	1,09	0,22	0,26	0,30
61	63	62	0,00373	0,57	1,66	0,29	0,35	0,40
63	65	64	0,00532	0,81	2,48	0,38	0,46	0,53
65	67	66	0,00740	1,13	3,61	0,48	0,58	0,69
67	69	68	0,01007	1,54	5,15	0,59	0,72	0,86
69	71	70	0,01336	2,04	7,19	0,70	0,88	1,05
71	73	72	0,01731	2,65	9,84	0,81	1,03	1,25
73	75	74	0,02190	3,35	13,19	0,91	1,18	1,45
75	77	76	0,02704	4,14	17,33	0,98	1,31	1,63
77	79	78	0,03261	4,99	22,32	1,02	1,41	1,79
79	81	80	0,03839	5,87	28,19		1,47	1,91
81	83	82	0,04412	6,75	34,94		1,48	1,98
83	85	84	0,04950	7,57	42,51		1,44	1,98
85	87	86	0,05422	8,30	50,81			1,93
87	89	88	0,05799	8,87	59,68			1,81
89	91	90	0,06055	9,26	68,95			1,65
91	93	92	0,06172	9,44	78,39			
93	95	94	0,06143	9,40	87,79			
95	97	96	0,05968	9,13	96,92			
97	99	98	0,05662	8,66	105,58			
99	101	100	0,05243	8,02	113,60			
101	103	102	0,04741	7,25	120,86			
103	105	104	0,04185	6,40	127,26			
105	107	106	0,03606	5,52	132,78			
107	109	108	0,03034	4,64	137,42			
109	111	110	0,02493	3,81	141,23			
111	113	112	0,01999	3,06	144,29			
113	115	114	0,01565	2,39	146,69			
115	117	116	0,01196	1,83	148,52			
117	119	118	0,00893	1,37	149,88			
119	121	120	0,00650	1,00	150,88			
121	123	122	0,00463	0,71	151,59			
123	125	124	0,00321	0,49	152,08			
125	127	126	0,00218	0,33	152,41			
127	129	128	0,00144	0,22	152,63			
129	131	130	0,00093	0,14	152,77			
				152,77		6,88912	13,1458	18,41468456

**Tableau 30: Calcul du nombre de dépassements effectués par un véhicule roulant à la vitesse v<sub>p</sub>.**

La classe de vitesses entre 73 et 75 km/h contiendra donc  $0,0219 \cdot 153 = 3,35$  véhicules avec une vitesse moyenne de 74 km/h.

Le nombre de véhicules dépassés par le véhicule roulant à 94 km/h sera  $N_i = 0,905$

En sommant sur les 39 classes entre 0 et 78 km/h, nous obtenons le nombre total de dépassements effectués par le véhicule roulant à  $v_p = 94$  km/h., à savoir 6,9 dépassements par unité de temps.

Si nous basons notre distance de visibilité sur un véhicule  $v_p = 94$  km/h et  $m=16$  km/h, ce véhicule peut effectuer 6,9 dépassements désirés, s'il n'y a aucun autre obstacle au dépassement. Le Tableau 30 donne les détails du calcul pour trois vitesses  $v_p$ .

Si on augmente la vitesse du véhicule dépassant à 100 km/h ( $V_{70}$ ) et on garde  $m = 16$  km/h alors tous les dépassements de véhicules plus lents que 84 km/h ( $V_{25}$ ) peuvent s'effectuer. Ceci augmente le nombre de dépassements possible de 6,9 à 13,1 pour la route de l'exemple et pour le véhicule de conception.

En considérant la vitesse du 85<sup>iem</sup> centile ( $V_{85}=106$  km/h) et un  $m = 16$  km/h, on pourra effectuer 18,4 dépassements tout en dépassant tous les véhicules roulant à peu près à la vitesse moyenne de 92,6 km/h. Ceci serait certainement un objectif souhaitable. L'implication inévitable serait une augmentation de la distance de visibilité au dépassement requise.

## ANNEXE B

Cette annexe traite des distances de visibilité pour la conception géométrique des routes obtenues lors de l'application du modèle 1c aux véhicules longs. Le Tableau 31 donne les résultats pour le dépassement d'un véhicule de 12 m de longueur, le Tableau 32 pour un véhicule de 21 m et le Tableau 33 pour un véhicule d'une longueur de 25 mètres. Ces calculs ont été effectués pour une largeur de voie de 3,7 mètres.

	Vc=50 km/h	Vc=60 km/h	Vc=70 km/h	Vc=80 km/h	Vc=90 km/h	Vc=100 km/h	Vc=110 km/h
Visibilité au moment t0 (VISIB t0)	309	426	559	710	879	1065	1270
Visibilité selon le principe de l'AASHTO	241	329	429	541	665	801	950
Visibilité au moment critique tc (VISIB tc)	168	226	291	362	440	524	614
delta c	8,5	8,6	8,5	8,4	8,2	8	7,7
d1	25	35	47	61	76	94	114
Occupation de la voie gauche d2=OG	110	150	196	246	303	365	433
d3	42	55	69	84	101	119	138
d4	63	89	118	150	185	223	265
AASHTO	345	407	482	541	605	670	728
Norme du Québec minimum	210	270	320	380	420	480	530
Norme du Québec souhaitable	310	380	460	540	600	690	750
Norme Australienne Établissement	165	205	245	300	360	430	500
Norme Australienne Continuation	330	420	520	640	770	920	1100

**Tableau 31: Dépassement d'un camion de 12 m par une auto**

	Vc=50 km/h	Vc=60 km/h	Vc=70 km/h	Vc=80 km/h	Vc=90 km/h	Vc=100 km/h	Vc=110 km/h
Visibilité au moment t0 (VISIB t0)	363	492	637	800	981	1179	1396
Visibilité selon le principe de l'AASHTO	280	378	487	608	741	886	1043
Visibilité au moment critique tc (VISIB tc)	189	254	325	402	486	576	672
delta c	12,1	12,4	12,4	12,4	12,3	12,1	11,9
d1	31	42	55	70	86	105	126
Occupation de la voie gauche d2=OG=	134	179	230	285	347	414	487
d3	42	55	69	84	101	119	138
d4	73	102	133	168	206	248	292
AASHTO	345	407	482	541	605	670	728
Norme du Québec minimum	210	270	320	380	420	480	530
Norme du Québec souhaitable	310	380	460	540	600	690	750
Norme Australienne Établissement	165	205	245	300	360	430	500
Norme Australienne Continuation	330	420	520	640	770	920	1100

**Tableau 32: Dépassement d'un camion de 21 m par une auto**

	Vc=50 km/h	Vc=60 km/h	Vc=70 km/h	Vc=80 km/h	Vc=90 km/h	Vc=100 km/h	Vc=110 km/h
Visibilité au moment t0 (VISIB t0)	387	521	672	840	1026	1230	1452
Visibilité selon le principe de l'AASHTO	298	399	512	637	774	923	1085
Visibilité au moment critique tc (VISIB tc)	199	266	340	420	506	599	698
delta c	13,7	14,1	14,2	14,2	14,1	13,9	13,7
d1	34	45	58	74	91	110	131
Occupation de la voie gauche d2 =OG	145	192	245	303	366	436	511
d3	42	55	69	84	101	119	138
d4	77	107	140	177	216	259	305
AASHTO	345	407	482	541	605	670	728
Norme du Québec minimum	210	270	320	380	420	480	530
Norme du Québec souhaitable	310	380	460	540	600	690	750
Norme Australienne continuation	165	205	245	300	360	430	500
Norme Australienne établissement	330	420	520	640	770	920	1100

**Tableau 33: Dépassement d'un camion de 25 m par une auto**

Il n'est pas surprenant de voir que la distance de visibilité nécessaire augmente lorsqu'on veut dépasser un véhicule plus long. Cette augmentation ne correspond pas à la différence des longueurs des véhicules, mais est beaucoup plus grande. À titre d'exemple à une vitesse de conception de 100 km/h la distance VISIB<sub>t0</sub> pour dépasser un véhicule de 21 m de longueur est de 1179 m et de 1230 m pour dépasser un véhicule de 25 mètres. La différence est donc de 51 mètres et non pas de 4 mètres.

On s'aperçoit également que le point critique se situe plus loin derrière le pare-chocs avant du véhicule à dépasser si la longueur de celui-ci augmente. Ceci correspond bien aux observations.

## ANNEXE C

Cette annexe présente un exemple pour mieux faire ressortir les différences entre les trois distances de visibilité pour la conception, c'est-à-dire entre la distance de visibilité au point t<sub>0</sub> VISIB<sub>t0</sub>, la distance de visibilité de compromis et la distance de visibilité au point critique VISIB<sub>tc</sub>.

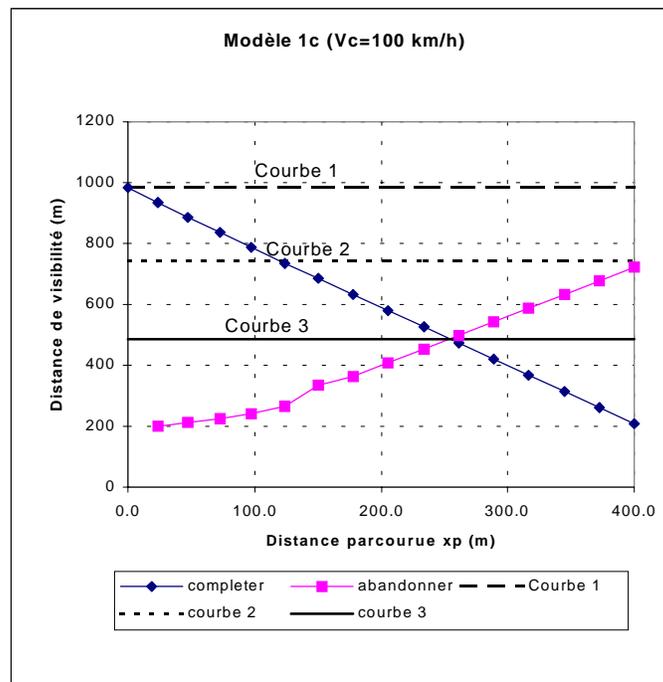
Dans cet exemple, il s'agit d'une route d'une vitesse de conception de 100 km/h dont le profil en long est formé par une pente montante de 2% suivie d'une pente descendante de 2% (A=4%). Une courbe verticale saillante d'une longueur L arrondit cette brisure de pente.

La distance de visibilité disponible  $S$  dans cette courbe au sommet se calcule selon la formule suivante et ceci en fonction de la hauteur des yeux ( $h_1=1,05$  m) et de l'obstacle ( $h_2=1,15$  m).

$$S = \sqrt{\frac{200 \cdot L}{A} \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} = 14.83 \cdot \sqrt{L}$$

On étudie trois différentes longueurs de courbe pour ce sommet, à savoir  $L_1 = 4400$  m,  $L_2 = 2500$  m et  $L_3 = 1080$  m.

La Figure 39 montre les distances de visibilité nécessaires pour compléter ou pour abandonner le dépassement en fonction de la distance déjà parcourue pendant la manœuvre de dépassement. On a superposé sur ce graphique les distances de visibilité disponibles pour les trois courbes à étudier. Ces distances sont de 984 m, 741 m et de 487 mètres pour les courbes 1, 2 et 3.



**Figure 39: Distances de visibilité nécessaires pour abandonner ou pour compléter le dépassement.**

a) Si la route a été conçue avec une courbe d'une longueur de 4400 mètres et si le véhicule dépassant se trouve sur la courbe, la visibilité offerte sur toute la longueur de la courbe est de 984 mètres. Cette visibilité est assez grande (elle est égale à  $VISIB_{t_0}$ ) pour compléter le dépassement sans inquiétude si, au moment  $t_0$ , on n'a aperçu aucun véhicule venant dans la voie opposée. Ce serait la situation idéale mais la courbe verticale a une longueur considérable dans ce cas.

b) D'autre part, si on construit une courbe de 2500 m de longueur, on a une distance de visibilité disponible de 741 mètres et ceci à n'importe quel endroit de la courbe. Cette distance correspond à la distance de compromis citée précédemment. La Figure 39 montre que le conducteur dépassant n'a pas assez de visibilité pour compléter le dépassement jusqu'à ce qu'il ait parcouru une distance de 120 mètres. Mais il peut abandonner en toute sécurité, car la distance nécessaire pour cela n'est que de 240 mètres et il dispose d'une visibilité de 741 m. Après avoir parcouru 120 mètres en dépassant, il a une distance de visibilité suffisante pour compléter le dépassement. L'approche de l'AASHTO se base sur une distance "compromis" se situant entre la distance totale au moment  $t_0$  et la distance minimale au moment critique  $t_c$ .

c) Dans le troisième cas, la courbe a une longueur de 1080 mètres, ce qui donne une visibilité de 487 mètres sur toute la longueur de la courbe (égale à la visibilité au point critique  $VISIB_{t_c}$ ). Cette distance de visibilité est suffisante pour abandonner le dépassement jusqu'au point critique et pour le compléter ensuite. C'est donc cette distance qui peut être utilisée pour la conception géométrique et pour le marquage des routes. Le fonctionnement est sécuritaire, mais le conducteur devrait être informé (lors des cours de conduite par exemple) que la distance de visibilité disponible peut le forcer à abandonner son dépassement quand il voit apparaître un véhicule venant en sens opposé.

