

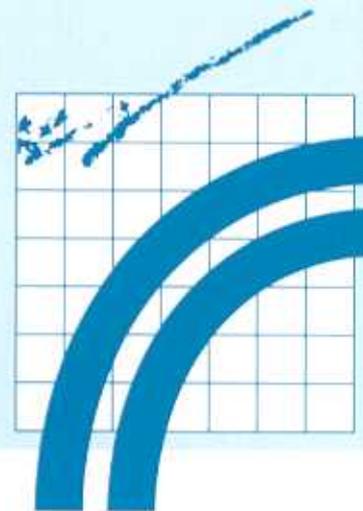
ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS



ÉVALUATION SUR SIMULATEUR DE CONDUITE DE L'EFFICACITÉ DU PRÉSIGNALEMENT D'ARRÊT POUR LES AUTOBUS SCOLAIRES

JACQUES BERGERON
MARTIN PAQUETTE
PIERRE THIFFAULT

TECHNOLOGIE
ET INSTRUMENTATION



**ÉVALUATION SUR SIMULATEUR DE CONDUITE DE L'EFFICACITÉ
DU PRÉSIGNALEMENT D'ARRÊT POUR LES AUTOBUS SCOLAIRES**

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec.

Auteurs

Jacques Bergeron, Martin Paquette, Pierre Thiffault

Collaboration

Carl L'Archevêque et Éric Robert, Université de Montréal

Titre et sous-titre du rapport				N° du rapport Transports Québec		
ÉVALUATION SUR SIMULATEUR DE CONDUITE DE L'EFFICACITÉ DU PRÉSIGNALEMENT D'ARRÊT POUR LES AUTOBUS SCOLAIRES				RTQ-01-01		
				Rapport d'étape	<input type="checkbox"/>	An Mois Jour
				Rapport final	<input checked="" type="checkbox"/>	2000-10-01
				N° du contrat (RRDD-AA-CCXX) : 1320-98-RC01		
Auteur(s) du rapport				Date du début de l'étude		Date de fin de l'étude
Jacques Bergeron, Martin Paquette, Pierre Thiffault				Janvier 1999		Octobre 2000
			Chargée de projet	Coût de l'étude		
			Andrée Lehmann	34 980 \$		
Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme)				Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme)		
Centre de recherche sur les transports Université de Montréal C. P. 6128, succursale Centre-ville Montréal (Québec) H3C 3J7 CANADA				Ministère des Transports du Québec 700, boul. René-Lévesque Est Québec (Québec) G1R 5H1 En partenariat avec la Société de l'assurance automobile du Québec et Transports Canada		
But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires						
L'objectif du projet consistait à réaliser une étude sur simulateur de conduite pour évaluer l'efficacité du présignallement d'arrêt à huit feux (2 feux jaunes et 2 feux rouges à l'avant et à l'arrière, dans le haut de l'autobus scolaire) comparativement aux feux de détresse ou aux feux d'urgence situés à mi-hauteur. Cette étude devait permettre de valider une étude de terrain réalisée dans une région accidentée du Québec. Ces études s'avéraient nécessaires à la modification de la réglementation.						
Résumé du rapport						
Dans l'ensemble, les résultats confirment que l'utilisation d'un présignallement d'arrêt pour les autobus scolaires apporte un avantage au regard de la sécurité.						
Le présignallement avec les feux jaunes intermittents (système à huit feux) entraîne des comportements significativement plus prudents que le présignallement avec les feux de détresse.						
Il reste que l'ensemble des résultats montre des problèmes de compréhension de la part des automobilistes en ce qui concerne le pré-signallement. Il y a lieu de poursuivre des travaux de recherche à ce sujet et d'étudier la pertinence d'effectuer des campagnes d'éducation sur la signification du présignallement dans le transport scolaire, particulièrement à l'occasion de la modification de la réglementation sur le présignallement d'arrêt pour les autobus scolaires.						
Nombre de pages	Nombre de photos	Nombre de figures	Nombre de tableaux	Nombre de références bibliographiques	Langue du document	Autre (spécifier)
72	0	9	13	20	<input checked="" type="checkbox"/> Français <input type="checkbox"/> Anglais	
Mots-clés				Autorisation de diffusion		
Arrêt ; autobus scolaires ; feux de détresse ; huit feux ; présignallement ; sécurité.				<input checked="" type="checkbox"/> Diffusion autorisée <input type="checkbox"/> Diffusion interdite		
				Signature du directeur général		Date

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement les nombreuses personnes qui ont collaboré à l'une ou à l'autre des parties de l'étude décrite dans ce rapport, notamment messieurs Carl L'Archevêque et Éric Robert, ingénieurs, responsables de la programmation informatique de l'étude, de même que mesdames Marie-Claude Ouimet et Julie Canaan qui ont participé respectivement aux analyses statistiques et à la préparation du rapport.

L'étude a été subventionnée par le ministère des Transports du Québec. Elle a aussi bénéficié d'un appui financier de la Société de l'assurance automobile du Québec. La traduction du résumé a été assumée par Transports Canada. L'étude a pu être réalisée grâce à la précieuse collaboration de monsieur André Fourrier, chef de service de la Direction générale des technologies de l'information et de la communication de l'Université de Montréal.

D'une manière toute particulière, les auteurs tiennent à remercier chaleureusement les membres du comité de suivi du ministère des Transports du Québec, de la Société de l'assurance automobile du Québec et de Transports Canada pour leur collaboration empressée et le soutien qu'ils ont apporté au cours de chacune des étapes de l'étude : madame Andrée Lehmann, ministère des Transports du Québec (MTQ), monsieur Georges Cyr, Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ), monsieur Claude Guérette, Transports Canada, monsieur Eduardo Martinez, ministère des Transports du Québec, monsieur James G. White, Transports Canada.

Note sur les auteurs

Jacques Bergeron, Ph.D., est professeur titulaire au Département de psychologie de l'Université de Montréal, directeur du Laboratoire de simulation de conduite, et chercheur affilié au Centre de recherche sur les transports. Martin Paquette, M.Sc., est assistant de recherche au Laboratoire de simulation de conduite de l'Université de Montréal, affilié au Centre de recherche sur les transports. Pierre Thiffault, M.Sc., est assistant de recherche au Laboratoire de simulation de conduite de l'Université de Montréal, affilié au Centre de recherche sur les transports.

RÉSUMÉ

Le présignallement d'arrêt pour autobus scolaire est une procédure de plus en plus utilisée pour accroître la sécurité du transport des écoliers. Il s'agit essentiellement d'avertir les usagers de la route, une dizaine de secondes à l'avance, qu'un autobus scolaire va s'arrêter pour laisser monter ou descendre des écoliers. On évite ainsi de prendre au dépourvu les conducteurs des véhicules qui suivent ou croisent l'autobus. L'objectif est donc l'adoption de comportements plus prudents dans les zones d'embarquement ou de débarquement, là où se produisent la grande majorité des accidents en transport scolaire.

Problématique

Les réglementations concernant le présignallement d'arrêt d'autobus scolaires diffèrent d'un État à l'autre ou d'une province à l'autre, en Amérique du Nord. L'utilisation de divers systèmes varie aussi d'une région à l'autre, d'un chauffeur à l'autre et parfois chez le même chauffeur d'autobus qui modifie la procédure de présignallement en fonction des conditions de la circulation. Le système de présignallement le plus complexe est celui à huit feux : quatre feux jaunes clignotant en alternance, juxtaposés aux quatre feux rouges signalant l'arrêt obligatoire, tous situés en haut de l'autobus. Par ailleurs, dans certaines régions on se sert des feux d'urgence situés à mi-hauteur des autobus comme présignallement d'arrêt. De plus, on peut craindre un effet indésirable du présignallement : en prévenant les conducteurs des autres véhicules d'un arrêt imminent de l'autobus, ne risque-t-on pas d'en inciter plusieurs à augmenter leur vitesse et à dépasser l'autobus au tout dernier moment pour éviter d'être retardés dans leurs déplacements ?

Au Québec, il n'existe pas de réglementation particulière relative au présignallement des autobus scolaires. Dans les faits, certains autobus sont uniquement équipés de feux de détresse et d'autres possèdent les deux systèmes. Ils sont alors utilisés séparément et dans certains cas en combinaison, selon les préférences du chauffeur ou les aléas de la circulation. Il en résulte que les messages transmis aux autres usagers de la route manquent souvent de clarté ou de transparence.

Mandat de l'étude

L'étude a été effectuée à la demande du Comité conjoint chargé de l'évaluation du présignallement d'arrêt pour autobus scolaire, comité formé de représentants du ministère des Transports du Québec, de Transports Canada, et de la Société de l'assurance automobile du Québec. Compte tenu de la pertinence d'évaluer systématiquement l'efficacité du présignallement d'arrêt pour autobus scolaire, les membres du Comité ont envisagé la réalisation de deux études complémentaires sur la question. D'abord une étude de terrain effectuée par Jean-François Bruneau en 1998 et la présente étude sur simulateur de conduite.

Les observations faites dans l'étude de terrain montrent une plus grande efficacité du système à huit feux avec feux jaunes intermittents, par rapport à l'utilisation des feux de détresse, pour induire une réduction de la vitesse des autres véhicules. De même, les chauffeurs interrogés dans le cadre de l'étude se disent persuadés que l'utilisation du système à huit feux avec feux jaunes intermittents représente la procédure la plus sécuritaire et ils favorisent sa standardisation. Toutefois, comme cette étude s'est déroulée dans une région où les automobilistes étaient habitués au présignallement des autobus scolaires, elle n'a pu pour des raisons de sécurité vérifier la condition « sans présignallement », de sorte qu'il reste à démontrer que l'utilisation d'un présignallement est préférable à l'absence de présignallement. Il serait cependant difficile aux fins d'une étude, autant pour une équipe de recherche que pour les responsables du transport scolaire, de courir le risque de faire circuler des autobus sur les routes d'une région sans utiliser de présignal, puisqu'il en va de la sécurité des enfants. D'où l'avantage d'une étude sur simulateur de conduite.

La réalisation d'une étude sur simulateur de conduite constitue un complément intéressant aux observations sur le terrain. Elle permet notamment : de faire changer en toute sécurité les diverses variables en cause ; de recruter des automobilistes, comme sujets d'expérimentation, en fonction de leurs habitudes de conduite et de leur expérience de la route ; de manipuler systématiquement des paramètres comme le type de route, la vitesse des autobus ou la durée de présignallement ; d'enregistrer les réactions des automobilistes à plusieurs moments bien déterminés au cours des secondes qui précèdent l'arrêt d'un autobus scolaire, avec ou sans présignallement, et pendant l'arrêt de l'autobus ; et d'interpréter les comportements des sujets à la lumière de leur connaissance du Code de la sécurité routière.

Objectifs de l'étude

Évaluer l'effet du présignallement d'arrêt pour autobus scolaires par rapport à l'absence de présignallement.

Évaluer l'efficacité relative de deux modes de présignallement, le système à feux jaunes intermittents (huit feux) et l'utilisation des feux de détresse (feux d'urgence).

Évaluer les connaissances des automobilistes quant à la réglementation relative au transport scolaire tel qu'il est prescrit par le Code de la sécurité routière.

Méthodologie

Soixante-trois sujets ont été recrutés pour participer à l'expérimentation, qui s'est déroulée au Laboratoire de simulation de conduite de l'Université de Montréal. Il s'agit d'hommes et de femmes de 18 à 60 ans, titulaires d'un permis de conduire depuis au moins deux ans et résidant à l'extérieur de l'île de Montréal, en périphérie de la région métropolitaine. Cette dernière condition avait pour but, tout en limitant les frais de déplacement remboursés aux sujets, d'éviter de recruter des personnes qui ne font que de la conduite urbaine et qui sont ainsi peu exposées à rencontrer des autobus scolaires dans des zones où la vitesse est plus élevée que dans les grandes agglomérations urbaines.

L'expérience dure environ deux heures. Au début de la conduite sur simulateur, les sujets ne sont pas prévenus que l'étude porte sur leurs réactions au présignallement des autobus scolaires. Ils ont comme seules consignes de conduire comme dans la vie réelle et de suivre les indications de la route, en évitant les accidents et en respectant le Code de la sécurité routière. Ils parcourent un trajet de 62 km, constitué d'une route semi-rurale à double sens, avec des voies simples et des voies doubles, et à limitation de vitesse (affichée sur panneaux) de 70 ou 90 km/h. Au cours de ce trajet, ils croisent plusieurs éléments routiers habituels : panneaux de signalisation, intersections, arrêts obligatoires, bifurcations, véhicules stationnés sur le bord de la route ou attendant à une intersection, voitures circulant dans le même sens ou en sens inverse, camions, autobus scolaires.

Parmi les quelque 300 véhicules croisés pendant le trajet, le sujet rencontre douze autobus scolaires. Dans la moitié des situations, les autobus circulent dans le même sens que la voiture du sujet, ralentissent devant lui puis s'arrêtent. Dans l'autre moitié, les autobus arrivent en sens inverse et s'arrêtent sur l'autre voie. Il y a trois modes de présignalement : feux jaunes intermittents (système à huit feux), feux de détresse, et absence de présignalement.

Les comportements des sujets sont enregistrés à trois moments stratégiques. Une première mesure (temps 1) est effectuée au début de la période de présignalement (ou, dans la modalité « absence de présignalement », au moment où il pourrait y avoir présignalement) et représente la réaction spontanée du sujet qui croise ou suit un autobus qui ralentit pour s'arrêter dans les prochaines secondes. Le sujet peut accélérer, garder la même vitesse, décélérer ou freiner, et ses réactions sont compilées d'une situation à l'autre pour constituer un « indice moyen de prudence ». Comme le présignalement dure une dizaine de secondes, même dans les situations où il a décéléré ou freiné au début du présignalement, le sujet dispose de suffisamment de temps pour reprendre de la vitesse et dépasser l'autobus. La mesure du temps 2 permet de déterminer ce que fait le sujet au moment où il est rendu à cinq mètres de l'autobus, qui continue à présignaler et est sur le point de s'immobiliser. Le sujet peut décider d'arrêter ou au contraire, s'il dispose d'une voie libre (dans le même sens ou en sens inverse), décider d'accélérer ou de dépasser l'autobus. On calcule ici également un « indice moyen de prudence » en compilant l'ensemble des douze situations de rencontre d'un autobus scolaire. Enfin, une troisième mesure est prise une fois l'autobus arrêté, avec ses feux rouges clignotants et le déploiement du panneau d'arrêt rétractable.

Après la conduite sur simulateur, les sujets répondent à une série de questionnaires portant notamment sur leur connaissance des prescriptions du Code de la sécurité routière relatives aux autobus scolaires, et sur leurs perceptions et compréhensions des modalités de l'expérience. Leurs réponses montrent qu'ils connaissent très bien les comportements à adopter quand un autobus est arrêté, mais savent beaucoup moins ce qu'ils doivent faire quand un autobus active ses feux de détresse ou ses feux jaunes intermittents. D'ailleurs, seulement quelques-uns des sujets convoqués rapportent avoir déjà vu un présignalement d'autobus scolaire. Enfin, la presque totalité des sujets disent ne pas s'être rendus compte, en cours d'expérience, que l'étude portait d'abord sur leurs

réactions aux autobus scolaires. Les comportements enregistrés sont donc des réactions spontanées au présignallement des autobus scolaires ou à l'absence de présignallement.

Analyse des résultats

Des analyses statistiques ont été effectuées sur les résultats obtenus par les sujets qui ont complété la totalité du trajet simulé et répondu à tous les questionnaires, écartant ainsi les personnes qui ont participé à l'expérience avant la mise au point finale du programme de simulation ou qui n'ont pu compléter l'expérimentation pour une raison ou une autre. Bien que l'on observe souvent des comportements plus prudents dans l'échantillon final (1) chez les 15 sujets de la catégorie d'âge plus élevée par rapport aux 26 sujets plus jeunes, (2) chez les sujets féminins par rapport aux sujets masculins, de même que (3) chez les personnes qui, au cours des deux dernières années, ont eu moins d'accidents et d'infractions, aucune de ces différences n'atteint le seuil de signification de 0,05. On peut donc considérer que les résultats, décrits plus bas, sur les réactions au présignallement des autobus scolaires sont valables pour l'ensemble des sujets, indépendamment de leur âge, de leur sexe ou de leur dossier de conduite.

Avantages du présignallement

D'une manière générale, les résultats indiquent que les sujets ont des réactions plus prudentes lorsqu'un présignallement est utilisé que lorsqu'il n'y a pas de présignallement. Bien qu'on n'ait pu noter au troisième temps de mesure aucun dépassement illégal d'un autobus déjà arrêté dans les 492 situations expérimentales à l'étude, les deux premiers temps de mesure montrent globalement l'avantage d'utiliser un présignallement dans la majorité des situations. Ainsi, au début de la période de présignallement (temps 1), le système à feux jaunes intermittents amène des comportements plus prudents aussi bien dans les situations où le sujet circule dans le même sens que l'autobus scolaire ou en sens inverse. Les réactions sont généralement plus prudentes aussi au temps 2, quand les sujets sont à cinq mètres d'un autobus qui utilise un présignallement, qu'il s'agisse des feux de détresse ou des feux jaunes.

Efficacité des modes de présignallement

D'une manière générale, les résultats indiquent que les sujets ont des réactions plus prudentes lors d'interactions avec des autobus utilisant le système à feux jaunes intermittents qu'en présence des feux de détresse. L'importance de cet avantage varie selon les situations expérimentales : les feux jaunes intermittents ont un avantage marqué sur les feux de détresse lors d'interactions avec un autobus scolaire qui circule sur une route à voie double dans le même sens que le sujet, ainsi que dans toutes les situations expérimentales où l'autobus circule en sens inverse du sujet.

Conclusions

Dans l'ensemble, les résultats confirment que l'utilisation d'un présignallement d'arrêt pour les autobus scolaires offre un avantage sur le plan de la sécurité.

D'une manière générale, le présignallement avec les feux jaunes intermittents (système à huit feux) entraîne des comportements plus prudents que le présignallement avec les feux de détresse.

Il reste que l'ensemble des résultats montre des problèmes de compréhension de la part des automobilistes en ce qui concerne le présignallement. Il y a lieu de poursuivre des travaux de recherche à ce sujet et d'étudier la pertinence d'effectuer des campagnes d'éducation sur la signification du présignallement dans le transport scolaire, particulièrement lors de la modification de la réglementation sur le présignallement d'arrêt pour les autobus scolaires.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	V
RÉSUMÉ	VII
INTRODUCTION	1
PROBLÉMATIQUE	1
Cadre théorique et pratique.....	8
Types de présignallement.....	8
Autres approches de présignallement.....	9
Réglementation.....	10
Résultats de l'étude de terrain.....	12
Synthèse.....	14
Complémentarité des études de terrain et de laboratoire.....	15
Objectifs de l'étude en simulation de conduite.....	16
MÉTHODOLOGIE	19
Sujets.....	19
Matériel.....	20
Déroulement de l'expérience.....	21
Conduite en simulation.....	22
Conditions expérimentales.....	22
Comportement « intelligent » de l'autobus.....	24
Détermination de la distance entre l'autobus et la voiture du sujet lors du présignallement, ainsi que de la durée de présignallement.....	25
Point de vue du conducteur en simulation.....	28
Schème expérimental.....	28
Variables indépendantes.....	28
Variables dépendantes.....	29
Variables contrôlées.....	29
Autres variables recueillies.....	29
Méthode de recrutement des sujets.....	29
Sujets retirés des analyses.....	30
Méthode d'analyse des résultats.....	30
Mesures en simulation de conduite.....	30
Méthode de calcul de la réaction des sujets : l'indice de prudence.....	30
Calcul de la réaction du sujet au temps 1 (début du présignallement) et au temps 2 (à 5 mètres de l'autobus scolaire).....	31
Vitesse moyenne et vitesse maximale des sujets en simulation de conduite.....	32
Questionnaires.....	32
Les méthodes d'analyses statistiques.....	33
ANALYSE DES RÉSULTATS	34
Comportements en simulation de conduite.....	35
Condition A (l'autobus scolaire circule dans le même sens que la voiture du sujet).....	35
Condition B (l'autobus scolaire circule en sens inverse de la voiture du sujet).....	40
L'indice global de prudence pour les différents types de présignallement.....	43
Dépassements illégaux d'autobus scolaires arrêtés.....	43
Connaissance du Code de la sécurité routière.....	44
Regroupement des résultats selon les objectifs de l'étude.....	46

Analyses complémentaires.....	49
Temps 1	49
Temps 2	50
Corrélations entre les autres variables recueillies et les mesures aux temps 1 et 2	51
INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	53
Résultats obtenus en rapport avec les objectifs de l'étude.....	53
Discussion	57
Conclusions	59
BIBLIOGRAPHIE	59

ANNEXE A QUESTIONNAIRES

ANNEXE B QUELQUES NOTES SUR LE « MAL DU SIMULATEUR »

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Description schématique du simulateur de conduite.....	21
Figure 2	Illustration de la condition A (même sens) et de la condition B (sens inverse) dans une zone de 70 km/h (voie simple).....	25
Figure 3	Réaction des conducteurs au début du présignallement de l'autobus qu'ils suivent (condition A, temps 1).....	36
Figure 4	Réaction des conducteurs qui rejoignent un autobus, selon le type de présignallement (condition A, temps 2).....	37
Figure 5	Réaction des conducteurs qui rejoignent un autobus en zone de 70 km/h, selon le type de présignallement (condition A, temps 2).....	38
Figure 6	Réaction des conducteurs qui rejoignent un autobus en zone de 90 km/h, selon le type de présignallement (condition A, temps 2).....	39
Figure 7	Réaction des conducteurs au début du présignallement de l'autobus qu'ils vont croiser (condition B, temps 1).....	41
Figure 8	Réaction des conducteurs qui croisent un autobus, selon le type de présignallement (condition B, temps 2).....	42
Figure 9	L'indice global de prudence selon l'absence de présignallement, le présignallement avec les feux de détresse et avec feux jaunes intermittents.....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Nombre de morts et de blessés dans les accidents impliquant un autobus scolaire au Québec entre 1995 et 1997 (source : SAAQ).....	4
Tableau 2	L'âge moyen et l'écart type, le nombre de kilomètres parcourus par année en situation réelle et le temps de possession du permis de conduire.....	20
Tableau 3	Répartition des autobus scolaires selon le type de présignallement, le sens, la vitesse et le temps de présignallement.....	24
Tableau 4	Distances de freinage et temps de réaction en condition idéale en fonction de la vitesse	26
Tableau 5	Distances parcourues en fonction de la vitesse pour chacun des temps de présignallement.....	26
Tableau 6	Les indices de prudence moyens pour chacune des situations analysées	36
Tableau 7	Résultats du questionnaire sur le Code de la sécurité routière pour une route à une voie.....	45
Tableau 8	Résultats du questionnaire sur le Code de la sécurité routière pour une route à deux voies	45
Tableau 9	Résultats du questionnaire sur le Code de la sécurité routière pour une route à deux voies avec terre-plein	46
Tableau 10	Avantages significatifs du présignallement.....	54
Tableau 11	Avantages significatifs du système à feux jaunes intermittents sur les feux de détresse.....	55
Tableau 12	Avantages significatifs du système à feux jaunes intermittents sur l'absence de présignallement	56
Tableau 13	Avantages significatifs des feux de détresse sur l'absence de présignallement.....	56

INTRODUCTION

Cette étude, réalisée sur le simulateur de conduite de l'Université de Montréal, vise à évaluer en simulation de conduite l'efficacité du présignallement d'arrêt pour autobus scolaire. Elle s'inscrit dans une démarche globale mise sur pied par un comité conjoint formé de représentants du ministère des Transports du Québec, de Transports Canada et de la Société de l'assurance automobile du Québec.

Cette recherche est effectuée en continuité avec une étude de terrain réalisée par Jean-François Bruneau en 1998 sur l'efficacité de deux dispositifs de présignallement d'arrêt. Ainsi, en plus des objectifs particuliers inhérents à la présente étude et qui seront présentés plus loin, on peut considérer que l'objectif général du projet est de valider et de compléter les observations de Bruneau, par une recherche en laboratoire, en isolant certains paramètres qui ne sont pas accessibles sur le terrain et en profitant du contrôle expérimental que permet le travail de laboratoire.

PROBLÉMATIQUE

Étant donné qu'ils concernent directement la santé et la sécurité des enfants, les incidents qui impliquent des autobus scolaires représentent une problématique particulièrement sensible dans l'opinion publique. De plus, les statistiques entourant ces accidents ne font que justifier ces préoccupations, comme en témoigne cet extrait du rapport du Protecteur du citoyen sur la sécurité du transport scolaire (1995) :

« De 1978 à 1991, il y a eu 2 047 victimes d'âge scolaire (5-17 ans) lors d'accidents mettant en cause des autobus scolaires et survenus en cours d'année scolaire, soit 53 décès, 195 blessés graves et 1 799 blessés légers, ce qui représente une moyenne de 157 victimes par année. Selon les dernières statistiques dont on dispose, il y a eu 97 victimes, dont 5 décès, en 1992 et 145 victimes, sans décès, en 1993. La situation n'a donc pas sensiblement évolué, même si on note une amélioration quant au nombre de décès : 20 décès de 1978 à 1981 ; 15 décès de 1982 à 1986 ; 7 décès de 1987 à 1991. Mais les décès ne représentent que 2,6 % des victimes, et il ne faut pas se limiter à ces cas pour évaluer l'ampleur du problème. L'autobus scolaire est en effet responsable de nombreuses blessures qui peuvent avoir de tragiques conséquences. De 1986 à 1992, quinze enquêtes ont été menées par des coroners au sujet d'accidents mortels concernant des autobus scolaires et des jeunes écoliers. Elles corroborent toutes, à quelques détails près, le scénario de l'accident type décrit par le Comité interministériel » : « En voulant traverser la chaussée en passant devant l'autobus scolaire, un élève de la maternelle ou du premier cycle du primaire (5 à 9 ans), donc de petite taille, se fait écraser par le devant de l'autobus scolaire (le conducteur n'a pas vu la victime) lors du retour de l'école en fin d'après-midi. »

On constate que malgré une diminution des décès d'enfants associés aux accidents impliquant des autobus scolaires, il n'en reste pas moins que ce type d'accidents demeure responsable d'un nombre significatif de blessures graves et mineures. Ceci reste vrai, au Québec, pour la période 1995-1997 (voir tableau 1).

Tableau 1

**Nombre de morts et de blessés dans les accidents impliquant un autobus scolaire
au Québec entre 1995 et 1997**

	1995	1996	1997	Total des victimes
Nombre de morts	0	0	0	0
Blessés grièvement	4	2	3	9
Blessés légèrement	82	101	83	266

Source : Société de l'assurance automobile du Québec.

Plusieurs mesures de sécurité ont été instaurées afin de diminuer les incidents dans le domaine du transport scolaire. Déjà en 1977, le National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) publiait une série de recommandations relatives à l'amélioration de la sécurité de ce type de véhicules. Ces recommandations concernaient principalement la texture et la hauteur des sièges de passagers. Une quantité importante de débats ont eu lieu depuis et plusieurs autres actions ont été entreprises. Certaines visent à protéger les passagers lors des accidents (interdiction d'être debout, dossiers des sièges plus élevés, matériaux qui absorbent l'énergie). D'autres mesures sont orientées vers une amélioration de la sécurité des enfants dans les zones d'embarquement (panneau d'arrêt rétractable, bras d'éloignement, détecteur de mouvements de type micro-onde, miroir de vision périphérique, formation des chauffeurs, instauration de routines d'embarquement/débarquement, éducation des piétons) (*Transport Research Board : Improving School Bus Safety*, 1989 ; Groupe Multi Réso, 1993).

Plusieurs accidents surviennent dans les zones d'embarquement des écoliers, alors que les enfants sont heurtés par l'autobus scolaire ou par un autre véhicule. Bien qu'il n'en soit pas toujours ainsi, le comportement des enfants pourrait être en cause dans plusieurs de ces accidents. Ainsi, outre les mesures de sécurité concernant le véhicule et la routine en zone d'embarquement/débarquement, certaines démarches d'interventions peuvent être aussi orientées vers les enfants. C'est dans cet ordre d'idée que Jacques Bergeron a réalisé une étude, en 1994, sur les caractéristiques des enfants pouvant exercer une influence sur leur sécurité dans le transport scolaire. Les faits saillants provenant de cette étude permettent de constater l'importance des facteurs de risque suivants, surtout chez les enfants de 5 à 9 ans :

- ◆ les problèmes de visibilité liés à la petite taille de l'enfant ;
- ◆ chez de nombreux enfants de cet âge, des problèmes d'attention et de vigilance dus à une maturation incomplète des systèmes sensoriels, perceptifs et cognitifs ;
- ◆ une mauvaise maîtrise de l'équilibre et des mouvements, doublée d'une grande exubérance motrice ;
- ◆ un stade de développement intellectuel où l'enfant a de la difficulté à percevoir l'environnement autrement que de sa propre perspective ;
- ◆ une mauvaise appréciation du temps, qui porte l'enfant à surestimer la durée d'un trajet en autobus scolaire, par exemple, et l'inciter à l'impatience et à la témérité ;
- ◆ des difficultés à juger des distances et des vitesses, et une certaine incompréhension de la dynamique de déplacement des véhicules ;
- ◆ une mauvaise perception du danger ou des risques éventuels d'une situation ;
- ◆ chez certains enfants, des traits de personnalité comme l'hyperactivité, l'agressivité et l'impulsivité qui accroissent leur vulnérabilité.

L'étude fait aussi ressortir certaines caractéristiques des enfants qui peuvent jouer un rôle positif dans l'élaboration de pistes de solution en vue d'accroître la sécurité dans le transport scolaire. Il s'agit principalement du besoin d'apprendre et de découvrir, du désir de se conformer à des règles acceptées par le groupe et de la qualité de la relation avec un adulte respecté et estimé comme le chauffeur de l'autobus. De plus, dans une autre étude réalisée à l'aide de questionnaires auprès d'un échantillon de 195 enfants, J. Bergeron, en 1993, observe qu'une majorité de ceux-ci considèrent notamment que l'équipement de l'autobus et la conduite vigilante du chauffeur sont des éléments positifs de sécurité.

Dans un autre ordre d'idée, on considère que les interactions entre l'autobus scolaire et les usagers de la route représentent aussi un aspect important. En effet, les arrêts fréquents des autobus sont autant de ruptures dans le flot de la circulation et, à ce titre, ils peuvent être considérés comme des événements dérangeants qui nécessitent des activités d'adaptation de la part des autres conducteurs. Ces événements représentent des sources de conflits potentiels. L'instauration de modalités de communication fiables et efficaces entre le chauffeur d'autobus et les usagers de la route peut diminuer le risque d'accidents d'une manière appréciable.

L'instauration de modalités de communication fiables et efficaces implique essentiellement que le chauffeur de l'autobus scolaire soit en mesure de communiquer clairement ses intentions. Il faut pour cela que le message soit non seulement perçu, mais qu'il soit aussi compris. Certaines règles de base de la communication s'appliquent ici. Tout d'abord, pour qu'un système de communication soit efficace, il faut que le médium utilisé pour véhiculer le message soit bien perçu, bien visible par tous les usagers du réseau routier. Ensuite, pour que le message soit bien compris, il est nécessaire qu'il soit exprimé dans un code établi, connu à la fois de l'émetteur (le chauffeur de l'autobus scolaire) et du récepteur (les usagers de la route). Si le code utilisé par l'émetteur est inconnu du récepteur, le message ne passera pas. Il est donc très important d'éduquer et de renseigner le public sur le sens du message, surtout si celui-ci est transmis dans un code ou un langage non représentatif ou analogique.

L'établissement de modalités de communication entre les chauffeurs d'autobus et les usagers du réseau routier est également une piste utilisée pour accroître la sécurité du transport scolaire. Hale *et al.* ont étudié, en 1983, l'efficacité d'un système de signalisation à huit feux (avec feux jaunes intermittents), utilisé seul ou en combinaison avec le panneau d'arrêt rétractable. En se basant sur le nombre d'infractions rapportées par les forces policières pour dépassement interdit d'un autobus scolaire, les auteurs observent peu de différence entre le nombre d'infractions rapportées pour les 157 autobus scolaires équipés du système traditionnel à quatre feux (feux rouges clignotants) et pour les 88 autobus scolaires munis du système à huit feux (feux jaunes intermittents). Par ailleurs, on observe 40 % moins d'infractions pour les autobus scolaires équipés du système à huit feux en combinaison avec le panneau d'arrêt rétractable.

Une autre étude, réalisée par Brackett *et al.* (1984b), avait pour but d'évaluer l'efficacité du panneau d'arrêt rétractable pour diminuer le nombre de véhicules qui dépassent illégalement un autobus scolaire à l'arrêt. En comparant le nombre de dépassements illégaux effectués aux dépens d'autobus utilisant ce système par rapport à d'autres ne l'utilisant pas, les auteurs concluent que le panneau d'arrêt rétractable est un dispositif efficace. Ils estiment que le 30 % de réduction d'infractions est attribuable à ce dispositif. Dans une autre étude visant à améliorer l'efficacité de ce dispositif, on observe que l'ajout d'une lumière stroboscopique (feux rouges clignotants) au panneau d'arrêt rétractable aurait, par ailleurs, permis de réduire de 2,8 à 0,2 le nombre quotidien de dépassements illégaux (*Transport Research Board : Improving School Bus Safety*, 1989).

D'une manière générale, l'utilité des dispositifs de communication est de signaler aux usagers de la route l'arrêt sous peu de l'autobus scolaire circulant devant eux afin qu'ils puissent agir en conséquence. Dans une autre série d'observations, Brackett *et al.* (1984a) constatent que malgré la présence de ces dispositifs, un certain nombre d'automobilistes ne respectent pas la signalisation. Ils observent que lors d'une journée typique d'opération, les autobus scolaires de la région de Houston (É.U.) sont dépassés illégalement 8,33 fois par jour, en moyenne, et les autobus de la région de San-Antonio (É.U.), 4,65 fois par jour. Les résultats d'un sondage réalisé dans le cadre de cette étude indiquent cependant qu'un nombre considérable d'automobilistes ne savent tout simplement pas quel comportement adopter en présence des différents signaux des autobus scolaires. Le message est bien perçu, mais il n'est pas compris par tous.

Ainsi, on constate que le problème de la sécurité des autobus scolaires est une préoccupation depuis bon nombre d'années, comme en témoigne la multitude d'initiatives techniques, de pistes de recherche et de moyens d'intervention qui sont utilisés. C'est donc dans la foulée de ces travaux, et dans le but d'améliorer davantage la sécurité de ces autobus, que le comité conjoint a commandé deux études sur l'efficacité du présignallement d'arrêt dans le transport scolaire. Comme le précise l'étude de Bruneau (1998), cette procédure de signallement est utilisée afin d'accroître la sécurité des élèves qui montent dans les autobus scolaires ou en descendent. Un problème peut toutefois se poser à cause de l'absence d'uniformité des dispositifs et des procédures de présignallement. En effet, cette lacune peut entraîner de la confusion et des difficultés de compréhension qui se traduisent par une grande variabilité dans les réactions des automobilistes en présence de ces signaux.

La problématique du présignallement des autobus scolaires est en soi très peu documentée. À notre connaissance, seulement deux études ont été réalisées sur le sujet. Il s'agit d'un rapport publié par le NHTSA (Hale *et al.*, 1983) et de l'étude de terrain réalisée par Bruneau (1998). Le rapport de recherche préparé par Bruneau contient cependant une analyse très complète du cadre théorique et pratique, ainsi qu'une recension des écrits. Il apparaît important de résumer certains points de cette analyse et de présenter les principaux résultats de l'étude de terrain.

Cadre théorique et pratique

Un certain nombre de considérations théoriques et pratiques doivent être abordées. Elles découlent en partie de l'étude de Bruneau (1998).

Types de présignallement

La confusion qui règne actuellement au Québec dans la problématique du présignallement d'arrêt s'explique en partie par l'utilisation de deux types d'équipement.

Feux de détresse ou feux d'urgence

« Les feux de détresse équipent en fait tous les véhicules routiers ; il s'agit des quatre feux de direction allumés simultanément (*hazard*). La taille des feux de direction varie selon le modèle de l'autobus et la compagnie qui le fabrique. La configuration diffère à l'avant et à l'arrière de l'autobus. Sur la plupart des modèles, les feux arrière sont ronds et leur diamètre atteint généralement une vingtaine de centimètres. Ils se démarquent bien étant directement placés sur la carrosserie. Toutefois, les feux avant sont généralement petits (5 à 10 cm) et de forme carrée ou rectangulaire. Sur les modèles à nez allongé, ils sont disposés sur le côté de la devanture et non sur la partie frontale. Ils sont ainsi placés dans le « vide », sur un petit support métallique à l'extérieur de la carrosserie. Sur les nouveaux modèles d'autobus à nez plat, les feux de direction avant sont aussi volumineux que les feux de direction arrière ». (Bruneau, 1998)

Système à huit feux ou avec feux jaunes intermittents

« Au Québec, certains autobus sont munis de quatre feux jaunes intermittents juxtaposés aux feux rouges. Les feux jaunes, comme les feux rouges, sont situés à la bordure du toit sur un fond noir qui les démarque bien. Les feux jaunes sont de taille identique à celle des feux rouges et ils clignotent de la même façon, par alternance gauche - droite. Ce dispositif est aussi appelé un système à huit feux, puisque l'autobus a quatre feux jaunes et quatre feux rouges (deux de chacun à l'avant et à l'arrière). Après la mise en fonction des feux jaunes, l'ouverture de la porte de l'autobus déclenche automatiquement le système d'arrêt. Les feux rouges remplacent alors les feux jaunes, qui cessent de clignoter ». (Bruneau, 1998)

Autres approches de présignallement

En plus des deux types de dispositifs de présignallement mentionnés précédemment, on trouve d'autres approches de présignallement, ce qui alimente la confusion. Selon Bruneau (1998), certains chauffeurs utilisent les deux types de présignallement dans le but d'accroître la sécurité des élèves : « Les chauffeurs qui disposent d'un système à huit feux utilisent parfois les feux de détresse avant de mettre en fonction les feux rouges. Dans ce cas, le conducteur qui rencontre l'autobus reçoit trois signaux successifs : feux de détresse, feux jaunes et feux rouges. » À noter que plusieurs variantes sont possibles dans les combinaisons entre feux de détresse, feux jaunes intermittents et feux rouges clignotants.

Il arrive, par ailleurs, dans certains contextes que les chauffeurs n'utilisent aucun présignallement. Le feu de direction (clignotant) de droite ou les feux rouges de freinage sont alors les seuls indices de l'arrêt imminent de l'autobus. Il faut noter que cette option se rencontre principalement lorsque le chauffeur ne voit aucun autre véhicule sur la route, par exemple sur des routes en rase campagne, des chemins privés et des entrées pour résidences. En Ontario et en Saskatchewan, le présignallement se fait, par ailleurs, avec les feux rouges intermittents. Dans ce cas, les conducteurs peuvent dépasser l'autobus lorsque celui-ci est en mouvement et l'arrêt devient obligatoire dès qu'il y a immobilisation du véhicule.

On constate donc une grande variabilité dans les modalités de présignallement : « Il y a au Québec deux types d'équipements utilisés pour présignaler, mais il subsiste une panoplie de messages de préavis » (Bruneau, 1998). Cette situation complique considérablement le processus de communication. Les réactions des usagers du réseau routier, qui doivent souvent agir promptement ou immédiatement, ne sont donc pas toujours adéquates.

Bruneau précise, par ailleurs, que les habitudes quant à la manière d'utiliser le présignallement diffèrent aussi d'un chauffeur à l'autre. Des différences sont ainsi remarquées en ce qui a trait à la durée et à la distance du présignallement, à la vitesse de l'autobus dès le début du présignallement et à sa visibilité en fonction de la géométrie de la route et des particularités de l'environnement.

Une autre particularité importante du présignallement est le fait qu'il s'agit d'un système de signalisation à durée variable qui survient en condition dynamique, contrairement aux feux de circulation qui sont d'une durée fixe, dans un environnement statique. Ainsi, d'autres facteurs comme la distance d'éloignement et la vitesse d'approche ont aussi un effet déterminant. Selon Bruneau (1998), la perception de la vitesse des autres véhicules est un élément clé dans le processus de décision. L'estimation de la vitesse de l'autobus scolaire serait dans les faits utilisée comme un indicateur du moment où il va s'arrêter. Il est important de préciser que cette estimation se fait différemment selon que l'on arrive de l'arrière de l'autobus ou en sens inverse. De plus, le facteur « sens de la circulation » implique aussi que les conducteurs ont un temps de réaction différent pour s'arrêter : à l'avant de l'autobus les vitesses s'additionnent tandis qu'elles sont soustraites à l'arrière. Ce faisant, il s'avère important de considérer la variable « sens de la circulation » comme un facteur qui peut avoir un effet déterminant sur l'efficacité du présignallement. Elle devrait donc être observée d'une manière toute particulière.

En résumé, on constate que la problématique du présignallement des autobus scolaires est relativement complexe. Il existe deux types de dispositifs : les feux de détresse et les feux jaunes intermittents. Certains autobus sont uniquement équipés des feux de détresse et d'autres possèdent les deux systèmes. Ils sont alors utilisés séparément et dans certains cas en combinaison, selon les préférences du chauffeur. Le présignallement est, par ailleurs, un processus dynamique qui se fait dans les deux sens de la circulation, dans des milieux physiques variés et selon diverses conditions d'achalandage. Tous ces facteurs ajoutent à la complexité du problème. Chaque présignallement est un événement unique qui survient dans un environnement en constante évolution. Il est donc important que le processus soit à la fois flexible et structuré. La procédure devrait être uniforme tout en donnant la possibilité de s'adapter à toutes les situations, de manière à ce que le signal et le message soient clairs dans toutes les conditions.

Réglementation

La réglementation actuelle au Québec ne permet pas de dissiper la confusion entourant l'utilisation du présignallement pour les autobus scolaires. En effet, seuls le panneau d'arrêt rétractable et les feux rouges sont obligatoires, le présignallement étant laissé à la discrétion des chauffeurs. De plus, comme le précise Bruneau, plusieurs formes de présignallement existent au Canada et les normes diffèrent d'une province à l'autre.

Principaux règlements du Code de la sécurité routière relatifs au transport scolaire (extrait de Les Publications du Québec, éditeur officiel) :

- Article 229 (Écoliers) : les autobus ou minibus affectés au transport d'écoliers au sens d'un règlement pris en vertu de la *Loi sur les transports* (chapitre T-12) doivent être munis de deux affiches portant l'inscription « Écoliers », placées l'une à l'avant et l'autre à l'arrière du véhicule. Ils doivent également être munis de feux intermittents placés à l'avant et à l'arrière du véhicule, ainsi que d'un signal d'arrêt obligatoire constitué soit d'un panneau d'arrêt escamotable, soit d'un bras escamotable avec panneau d'arrêt.
- Article 377 (Feux de détresse) : nul ne peut utiliser les feux de détresse d'un véhicule routier sauf pour des motifs de sécurité. 1986, c. 91, a. 377.
- Article 456 (Feux intermittents) : le conducteur d'un autobus ou minibus affecté au transport d'écoliers doit, lorsqu'il s'arrête pour faire monter ou descendre des personnes, donner l'alerte en mettant en marche les feux intermittents et actionner le signal d'arrêt obligatoire visé à l'article 229 tant que les personnes ne sont pas en sécurité. 1986, c. 91, a. 456 ; 1993, c. 42, a. 8.
- Article 457 : lorsque des autobus ou minibus affectés au transport d'écoliers sont immobilisés à la file et que le conducteur de l'un de ces véhicules fait monter ou descendre des personnes, les conducteurs des autobus ou minibus qui suivent doivent également mettre en marche les feux intermittents de leurs véhicules et actionner leur signal d'arrêt obligatoire. 1986, c. 91, a. 457 ; 1993, c. 42, a. 9.
- Article 458 (Restriction) : le conducteur d'un autobus ou minibus affecté au transport d'écoliers ne peut mettre en marche les feux intermittents de son véhicule ni actionner son signal d'arrêt obligatoire que dans les circonstances prévues aux articles 456 et 457. 1986, c. 91, a. 458 ; 1993, c. 42, a. 10.
- Article 460 (Dépassement interdit) : le conducteur d'un véhicule routier qui approche d'un autobus ou minibus affecté au transport d'écoliers dont les feux intermittents sont en marche ou lorsqu'il fait usage de son signal d'arrêt obligatoire doit immobiliser son véhicule à plus de 5 mètres de l'autobus ou du minibus et ne peut le croiser ou le dépasser que lorsque les feux intermittents sont éteints et le signal d'arrêt obligatoire escamoté, et qu'après s'être assuré qu'il peut le faire sans danger.

- Terre-plein : le premier alinéa ne s'applique pas à un véhicule routier qui croise un autobus ou un minibus affecté au transport d'écoliers sur une chaussée adjacente séparée par un terre-plein ou une autre séparation physique surélevée.

On constate qu'il n'y a pas de règlement au sujet de la présignalisation. Bruneau précise que la courtoisie du chauffeur et son jugement de la situation sont les deux clés évoquées pour justifier un présignallement. Selon lui, cette situation peut d'ailleurs provoquer des conflits dont les victimes sont les conducteurs habitués à recevoir un signal d'arrêt imminent. L'exemple amené pour illustrer ce type de conflit est celui où un conducteur confronté à un arrêt sans préavis freine brusquement et se fait emboutir par un véhicule qui le suit. Dans ce cas, le chauffeur est protégé par la loi puisqu'il n'est pas obligé de présignaler. Selon Bruneau, la simple permission de présignallement peut entraîner un effet pervers : « Il est officieux de simplement *tolérer* le présignallement car cela crée des situations où le présignallement peut disparaître au gré du chauffeur. Habituer les conducteurs à sa présence engendre un effet d'accoutumance. Les chauffeurs sont presque tous courtois, alors pourquoi ne pas officialiser la chose en rendant le présignallement obligatoire. »

Une des manières d'améliorer l'efficacité du présignallement pour les autobus scolaires serait, en effet, de diminuer la variabilité dans son utilisation. Un changement dans la réglementation, visant à rendre le présignallement obligatoire, pourrait être un premier pas dans cette direction. De plus, il faut encore démontrer que l'utilisation d'un présignallement est plus efficace, pour ce qui est de la sécurité routière, que sa non-utilisation. Enfin, il importe de statuer sur l'efficacité relative des feux de détresse et des feux jaunes intermittents.

Résultats de l'étude de terrain

Les deux projets de recherche sont complémentaires. Ils ont été commandés par le même comité pour répondre à des questions précises. L'étude de terrain ayant été réalisée au préalable, il est possible d'utiliser les résultats obtenus pour orienter les efforts de l'étude de laboratoire. De plus, comme nous le verrons, les deux approches comportent des forces et des faiblesses. L'étude sur simulateur permet donc de répondre à certaines interrogations qui ont été soulevées à la suite de l'étude de terrain et de valider les résultats obtenus à l'aide d'une méthodologie bien différente.

Les objectifs de l'étude de terrain étaient les suivants :

- ◆ définir la pertinence d'utiliser un présignallement d'arrêt systématique sur les autobus scolaires ;
- ◆ évaluer sur le terrain l'efficacité de deux dispositifs de présignallement : les feux jaunes intermittents et les feux de détresse ;
- ◆ questionner les chauffeurs d'autobus afin de connaître leur perception de la dynamique et de l'efficacité de ces deux formes de présignallement.

Résultats obtenus

1. D'une manière générale, les résultats indiquent que les feux jaunes intermittents sont deux fois plus efficaces que les feux de détresse pour diminuer la vitesse des conducteurs situés devant l'autobus (2,2 : 1). Ce rapport d'efficacité diminue à 1,3 : 1, lorsque les conducteurs sont derrière l'autobus.
2. En fonction du trafic qui fait face à l'autobus, les feux de détresse sont associés à un risque d'infraction deux fois plus élevé (1,9 : 1). Quant au trafic derrière l'autobus, ce risque n'est pas estimé vu la rareté des cas avec feux jaunes intermittents.
3. Les feux jaunes intermittents ont l'avantage d'être plus visibles que les feux de détresse dans la majorité des contextes routiers.

Selon Bruneau, les feux jaunes intermittents étant placés plus haut, près du toit, sont aperçus de plus loin et par plus de conducteurs, et ce, surtout en contexte d'achalandage : « En effet, les conducteurs captifs, qui ont la vue obstruée dans une filée de véhicules obtiennent de meilleurs taux de ralentissement et de conformité à l'arrêt s'ils font face aux feux jaunes ».

4. Les chauffeurs questionnés sont persuadés que les feux jaunes intermittents sont plus sécuritaires et ils semblent vouloir, même les non-utilisateurs, une standardisation en leur faveur.

Conclusion

Pour terminer, Bruneau précise qu'une forme quelconque de présignallement des arrêts semble nécessaire pour assurer la sécurité des écoliers et des conducteurs. Selon lui, ce sont les feux jaunes intermittents qui sont le plus efficaces : « Les enquêtes pratiques et théoriques portent à croire que le

meilleur dispositif de présignallement est celui des feux jaunes. Il apparaît plus apte à ralentir les conducteurs et il entraîne une réduction des dépassements illégaux. »

Synthèse

Les éléments présentés dans la problématique peuvent être résumés assez simplement. Tout d'abord, on constate qu'une confusion règne actuellement dans le domaine du présignallement pour les autobus scolaires. Cette confusion est principalement alimentée par les facteurs suivants :

- ◆ la réglementation est vague, car elle permet l'utilisation du présignallement sans l'obliger, ce qui implique que les chauffeurs d'autobus scolaires ne l'utilisent pas toujours et qu'ils emploient plusieurs méthodes différentes selon leurs préférences personnelles ;
- ◆ deux types de dispositifs sont utilisés, les feux de détresse et les feux jaunes intermittents ;
- ◆ il n'y a pas eu de campagne de sensibilisation de la population visant à présenter la procédure de présignallement et les dispositifs de feux jaunes intermittents.

Le résultat de cette situation est que les usagers du réseau routier reçoivent une grande quantité de messages différents provenant des autobus scolaires. Ceci peut entraîner des problèmes de compréhension et provoquer une importante variabilité dans les réactions des automobilistes au présignallement. De plus, étant donné qu'aucune campagne d'éducation n'a été entreprise afin d'expliquer la signification du code utilisé, les usagers doivent interpréter eux-mêmes les signaux perçus. À cet égard, il est important de préciser que les signaux de type analogique, ayant une signification intrinsèque, sont faciles à interpréter, alors qu'un code arbitraire comme le présignallement pour autobus scolaires doit être expliqué pour que le message soit bien compris. Il est de toute première importance que les usagers de la route soient informés du lien qui existe entre eux (récepteurs) et l'émetteur. Cette constatation rejoint d'ailleurs les conclusions de Bruneau, selon qui les infractions relativement aux autobus scolaires seraient principalement involontaires et davantage reliées à des problèmes de compréhension : « Aussi, puisqu'une bonne part des infractions sont involontaires, au dire des chauffeurs, il faudrait sonder la perception des feux de présignaux et des feux d'arrêt chez les conducteurs. Il faut rehausser la détection et la compréhension du message de préavis d'arrêt. »

Il semble qu'un bon moyen de diminuer la confusion entourant le présignallement serait tout d'abord de clarifier la réglementation. À ce sujet, les chauffeurs d'autobus qui ont été interrogés lors de l'étude de terrain soulignent qu'ils sont en faveur de rendre obligatoire l'utilisation du présignallement. Ceci est aussi vrai pour les chauffeurs qui n'ont pas l'habitude de présignaler. Par ailleurs, avant de recommander une réglementation allant dans cette direction, il faut d'abord observer si l'utilisation d'un présignallement offre un avantage significatif en matière de sécurité routière et s'il est, à cet égard, supérieur à l'absence de présignallement. Il est important de souligner que l'étude de terrain n'a pas permis de vérifier ce dernier point étant donné que la condition « aucun présignallement » n'a pas été utilisée. En fait, lors de l'étude de terrain, la condition « aucun présignallement » a été interrompue à cause du risque d'accident, puisque dans le secteur où a eu lieu l'étude, les automobilistes étaient habitués au présignallement. De plus, il est nécessaire d'étudier l'efficacité relative des deux types de dispositifs de présignallement. Notons que l'étude de terrain de Bruneau démontre la supériorité du système à feux jaunes intermittents (huit feux) dans toutes les conditions observées.

Complémentarité des études de terrain et de laboratoire

Avant de formuler les objectifs du projet, il convient de commenter la pertinence d'utiliser ces deux approches de recherche de façon concertée. L'utilisation d'un simulateur de conduite est une technique qui permet de maximiser le contrôle expérimental. À l'aide de cette méthode, il est possible de reproduire exactement les mêmes situations routières pour tous les sujets et de manipuler certains paramètres tout en maintenant les autres constants. De cette manière, il est possible de s'assurer de la clarté des relations observées entre les variables dépendantes et indépendantes, et de diminuer grandement la possibilité de contamination du schéma expérimental par des facteurs extérieurs.

L'utilisation du simulateur de conduite permet aussi d'avoir directement accès aux conducteurs qui rencontrent les autobus scolaires et d'observer leurs réactions en détail en ayant recours à des mesures non seulement de leurs comportements, mais aussi de leur expérience subjective et de leurs connaissances. Ceci est un atout important pour le présent projet, dans lequel on cherche justement à évaluer jusqu'à quel point les automobilistes comprennent le présignallement des autobus scolaires, et quelles sont leurs réactions en présence de ce type de signal.

Malgré plusieurs avantages intéressants, la recherche en laboratoire comporte aussi des inconvénients que l'on ne retrouve pas lors d'une étude de terrain. L'inconvénient le plus important se situe en matière de la validité écologique de la situation expérimentale. En effet, bien que le réalisme des simulations s'améliore constamment, il n'en demeure pas moins que les sujets sont dans un laboratoire et qu'ils en sont conscients. De plus, il est important de préciser que certaines études réalisées sur le simulateur de conduite de l'Université de Montréal, dont l'une compare point par point des comportements de sujets sur la route et sur le simulateur, démontrent une grande correspondance entre les comportements en situation de conduite réelle et simulée (Ouimet, 2000).

Dans les faits, il faut considérer que ces deux stratégies de recherche sont complémentaires et qu'elles peuvent être toutes deux utilisées dans un même programme de recherche. Ainsi, une approche visant à combiner les deux méthodes et à profiter de leurs avantages tout en diminuant l'importance de leurs inconvénients respectifs représente une solution idéale.

Objectifs de l'étude en simulation de conduite

La présente étude a pour objet de compléter et de valider les résultats obtenus lors de l'étude de terrain. Cet objectif général est atteint par la réalisation de trois objectifs particuliers.

Évaluer en simulation de conduite l'effet du présignallement d'arrêt dans le transport scolaire

Ce premier objectif vise à observer si l'utilisation du présignallement a un effet significatif en ce qui a trait à la sécurité lorsqu'il est comparé à l'absence de présignallement. Il est important d'évaluer d'abord l'efficacité de la procédure de présignallement avant de recommander l'usage de l'un ou l'autre des dispositifs. Cette condition n'a pas été évaluée lors de l'étude de terrain.

Évaluer en simulation de conduite l'efficacité relative de deux modes de présignallement, le système à feux jaunes intermittents (huit feux) et les feux de détresse (feux d'urgence), en rapport avec aucun présignallement, et ce, dans plusieurs situations particulières

La diminution de la confusion entourant l'utilisation de présignallement passe par une standardisation des procédures et des équipements. Cet objectif va permettre d'étudier l'efficacité relative des deux systèmes utilisés. À cet égard, l'étude de terrain conclut à la supériorité des feux jaunes intermittents.

Évaluer les connaissances des automobilistes sur la réglementation relative au transport scolaire telle qu'elle a été prescrite par le Code de la sécurité routière

Il s'agit de vérifier le niveau de connaissance des conducteurs sur la problématique du transport scolaire en général et de mesurer leur niveau de compréhension du présignallement des autobus scolaires. En vérifiant le niveau de compréhension des conducteurs et en le mettant en rapport avec les réactions à l'endroit des autobus scolaires, il sera possible d'évaluer si ces comportements sont effectivement « involontaires » ou réalisés en toute connaissance de cause. Si les conducteurs comprennent le présignallement mais n'y obéissent pas, le problème est davantage dans les attitudes, la motivation et la décision de courir le risque. Par ailleurs, s'ils ne comprennent pas le présignallement, il y a lieu de penser à améliorer le niveau des connaissances par des mesures éducatives.

MÉTHODOLOGIE

Sujets

Soixante-trois sujets ont été recrutés pour participer à l'étude. Le recrutement a été effectué à l'aide d'affiches et de messages indiquant que le Laboratoire de simulation de conduite de l'Université de Montréal était à la recherche d'hommes et de femmes de tous âges pour participer à une expérience en simulation de conduite, selon les critères suivants :

- ◆ habiter la banlieue (à l'extérieur de l'île de Montréal) ;
- ◆ posséder un permis de conduire depuis au moins deux ans ;
- ◆ être disponible pour une expérience d'une durée de deux heures (sur rendez-vous).

Le premier critère avait pour objectif, tout en limitant les frais de déplacement remboursés aux sujets, d'éviter de recruter des sujets qui ne font que de la conduite urbaine et qui sont ainsi peu exposés à rencontrer des autobus scolaires dans des zones où la vitesse est plus élevée que dans les grandes agglomérations urbaines.

Du nombre total des 63 personnes qui ont été convoquées et qui se sont prêtées à la conduite sur simulateur, 22 sujets n'ont pas été retenus pour les analyses, dont 10 qui ont participé à l'expérience avant la mise au point finale du programme de simulation, 11 qui n'ont pas complété le trajet à cause de malaises et un sujet pour des raisons professionnelles (il s'agit d'un policier).

L'échantillon final est donc composé de 41 sujets répartis selon deux groupes d'âge : les conducteurs âgés de 18 à 34 ans (15 hommes et 11 femmes), et les conducteurs âgés de 35 à 60 ans (9 hommes et 6 femmes). La moyenne d'âge de l'échantillon est de 30,3 ans, avec un écart type de 11,2 ans (moyenne du groupe des hommes : 29,7 ans avec 10,9 ans d'écart type ; et pour le groupe des femmes : 31,2 ans avec 11,9 ans d'écart type). Les sujets proviennent tous de l'extérieur de l'île de Montréal. Ils possèdent un permis de conduire du Québec depuis, en moyenne, 12,1 ans, avec un écart type de 10,1 ans (moyenne du groupe des hommes : 12,3 ans avec 10 ans d'écart type ; et pour le groupe des femmes : 11,8 ans avec 10,4 ans d'écart type).

Le tableau 2 indique l'âge moyen des sujets masculins et des sujets féminins, l'écart type de l'âge des sujets, le nombre de kilomètres parcourus par année et le nombre d'années de possession du permis de conduire.

Tableau 2

L'âge moyen et l'écart type, le nombre de kilomètres parcourus par année en situation réelle, et le temps de possession du permis de conduire

	Hommes	Femmes	Tous les sujets
Âge moyen	29,7	31,2	30,3
Écart type de l'âge	10,9	11,9	11,2
Nombre de kilomètres par année	23 000	14 706	19 561
Années de conduite	12,3	11,8	12,1

Matériel

L'expérience est réalisée sur le simulateur de conduite de l'Université de Montréal. Tel qu'il est illustré à la figure 1, le simulateur est constitué d'une voiture entière (modèle Honda Civic STD 1991). Cette voiture provient du Centre d'essais routiers de Transports Canada, à Blainville. La voiture a été d'abord démontée, puis ré-assemblée dans le laboratoire de simulation de conduite automobile. Le groupe propulseur, le système d'échappement ainsi que la suspension ont été retirés avant le remontage. La voiture est placée au centre d'une pièce, un écran lui faisant face. Un projecteur haute résolution est suspendu au-dessus de l'habitacle, projetant sur l'écran une image de 10' de largeur et de 8' de hauteur.

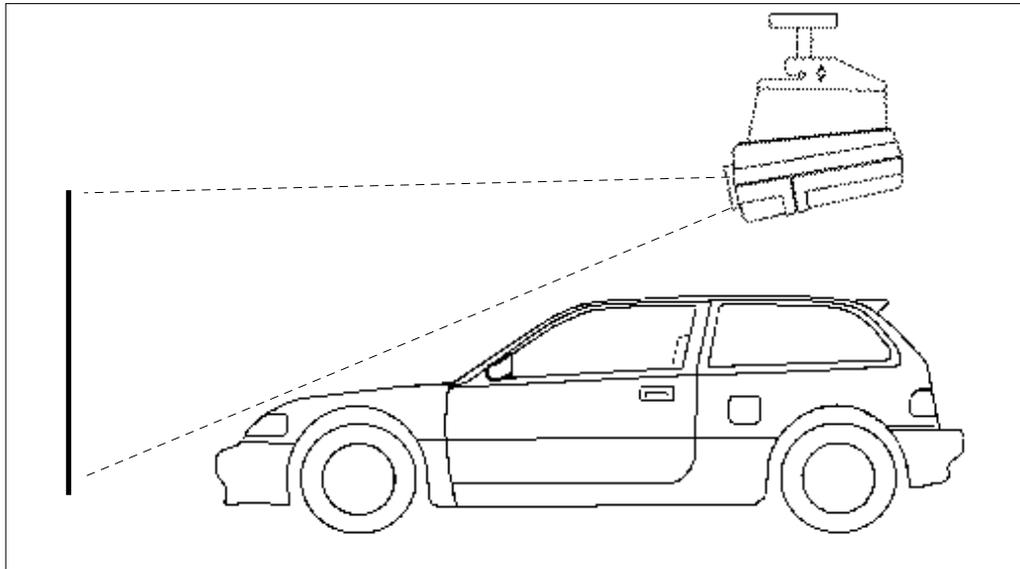


Figure 1 Description schématique du simulateur de conduite

Les commandes de la voiture (volant, frein, accélérateur, etc.) ainsi que divers indicateurs sont opérationnels (v.g. indicateur de vitesse). Le frein et l'accélérateur permettent au conducteur de contrôler la vitesse du véhicule.

La génération des images projetées est effectuée par un ordinateur Silicon Graphics 320. Cet ordinateur est également responsable de l'acquisition des données. Pendant la simulation, l'information provenant du véhicule est échantillonnée quatre fois par seconde. Il s'agit principalement de la position du véhicule sur les axes X, Y et Z, de la vitesse, de l'accélération, du freinage, de l'orientation et des micro-mouvements du volant.

Une caméra vidéo située à l'arrière de la voiture permet de voir le sujet ainsi que ce qui est projeté à l'écran, en transmettant une image en noir et blanc à l'expérimentateur installé dans la pièce adjacente au simulateur. Un système d'interphone entre le simulateur et le poste de l'expérimentateur permet la communication avec le sujet en tout temps.

Déroulement de l'expérience

Le sujet prend place dans l'habitacle du simulateur de conduite à son arrivée au laboratoire, et on lui remet les consignes par écrit. L'expérimentateur explique brièvement la tâche à accomplir et donne

les indications nécessaires concernant les commandes de la voiture (volant, pédale de frein, accélérateur, clignotants, cadrans du tableau de bord) dans le but de familiariser le sujet avec la voiture et son équipement. Avant de commencer la simulation, l'expérimentateur s'assure que tout est bien compris et que le sujet est bien à son aise. Après l'expérimentation, le sujet est invité à répondre aux questionnaires.

Conduite en simulation

La conduite est la même durant toute l'expérimentation : les sujets doivent circuler sur un trajet simulé constitué d'une route semi-rurale à double sens (avec des voies simples et des voies doubles), à limitation de vitesse (affichée sur panneaux) variant de 70 à 90 km/h, et qui comporte des intersections, des arrêts, etc. Ils doivent se déplacer sur la route, de la même façon que dans la vie réelle, en respectant le Code de la sécurité routière, en évitant d'avoir des accidents et en suivant simplement le trajet suggéré par les indications sur la route. Au cours de la simulation, les sujets ont l'occasion de croiser plusieurs éléments routiers habituels : panneaux de signalisation, intersections, arrêts obligatoires, bifurcations, voitures circulant dans le même sens ou en sens inverse, camions, autobus scolaires.

Avant l'expérimentation, les sujets se familiarisent avec l'équipement et avec la conduite sur simulateur pendant une période d'exercice de 15 minutes.

Conditions expérimentales

Il est important de noter que les sujets ignorent que l'étude porte sur leurs réactions au présignallement des autobus scolaires¹. Dans le but d'observer leurs réactions spontanées (comme en conduite réelle), on leur demande simplement de parcourir un trajet comme dans la vie réelle en suivant les indications de la route.

Le trajet simulé, programmé spécifiquement pour la présente étude, a une longueur de 62 kilomètres. Pendant ce trajet, la voiture du sujet rencontre près de 300 véhicules. Dans certains cas, la voiture du

¹. À la fin de l'expérimentation, on informe le sujet du but réel de l'étude et des raisons pour lesquelles on ne lui a pas dit que l'on s'intéressait à ses réactions au présignallement des autobus scolaires. On lui demande de garder le secret sur ce dernier point au cours des deux prochains mois pour éviter d'influencer indûment les prochains sujets.

sujet rejoint un véhicule qui circule plus lentement ou ralentit devant elle, et le sujet doit dépasser ce véhicule pour circuler à la vitesse affichée. Dans les autres cas, il s'agit d'un véhicule qui vient en sens inverse et qui croise la voiture du sujet. D'autres véhicules sont stationnés sur le bord de la route ou attendent à une intersection. Parmi les véhicules qu'il croise ou rejoint au cours du trajet programmé, le sujet rencontre 12 autobus scolaires répartis au hasard dans l'ensemble des véhicules ; la rencontre de ces 12 autobus scolaires constitue les 12 « situations expérimentales » de l'étude, pour un total de 492 observations pour les 41 sujets retenus pour analyses.

Les 12 situations expérimentales de présignallement se présentent comme suit (voir le tableau 3) :

1. Dans la moitié des situations, les autobus scolaires circulent dans le même sens que la voiture du sujet et ralentissent devant elle, et dans l'autre moitié, les autobus scolaires arrivent en sens inverse et s'arrêtent sur l'autre voie.
2. Il y a trois modes de présignallement : aucun présignallement, utilisation des feux de détresse, et utilisation du système avec feux jaunes intermittents.
3. Cette répartition des variables expérimentales crée six situations distinctes qui sont présentes dans deux zones de vitesses (70 et 90 km/h), pour un total de 12 situations par sujets. Il y a donc six autobus en zone de 70 km/h (voie simple) et six en zone de 90 km/h (voie double).

Dans chaque situation expérimentale, les autobus présignalent durant une période de temps prédéterminée (sauf pour la condition « aucun présignallement »), ralentissent et s'arrêtent. À ce moment, le signal d'arrêt obligatoire est enclenché (feux rouges clignotants et panneau d'arrêt rétractable) et le sujet, s'il est resté derrière (ou devant, selon le sens) l'autobus, doit attendre dix secondes, après quoi le signal est retiré. À ce moment, l'autobus repart lentement, permettant au sujet de le dépasser s'il le désire, et s'oriente vers une rue adjacente.

Tableau 3

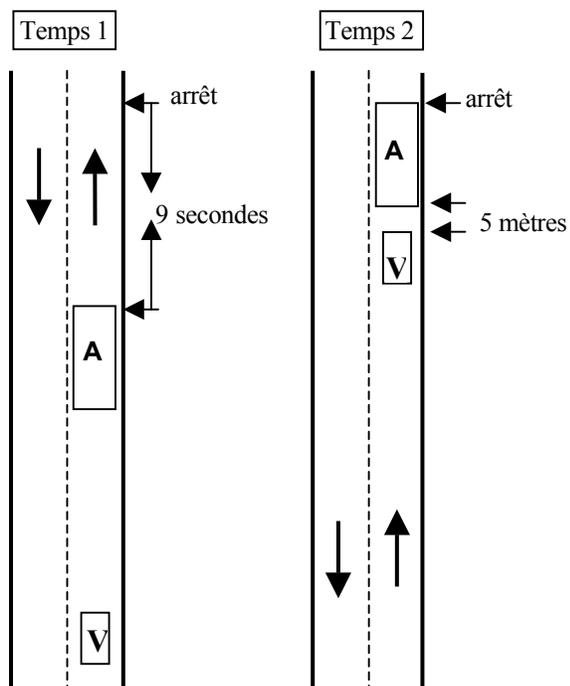
Répartition des autobus scolaires selon le type de présignallement, le sens, la vitesse et le temps de présignallement

	Présignallement	Sens	Voie et zone	Temps du présignal
Autobus 1	Feux de détresse	Inverse	Voie simple 70 km/h	9 secondes
Autobus 2	Aucun	Même	Voie simple 70 km/h	9 secondes
Autobus 3	8 feux	Inverse	Voie simple 70 km/h	9 secondes
Autobus 4	Aucun	Même	Voie double 90 km/h	11 secondes
Autobus 5	8 feux	Inverse	Voie double 90 km/h	11 secondes
Autobus 6	8 feux	Même	Voie double 90 km/h	11 secondes
Autobus 7	Aucun	Inverse	Voie simple 70 km/h	9 secondes
Autobus 8	Feux de détresse	Même	Voie double 90 km/h	11 secondes
Autobus 9	8 feux	Même	Voie simple 70 km/h	9 secondes
Autobus 10	Aucun	Inverse	Voie double 90 km/h	11 secondes
Autobus 11	Feux de détresse	Inverse	Voie double 90 km/h	11 secondes
Autobus 12	Feux de détresse	Même	Voie simple 70 km/h	9 secondes

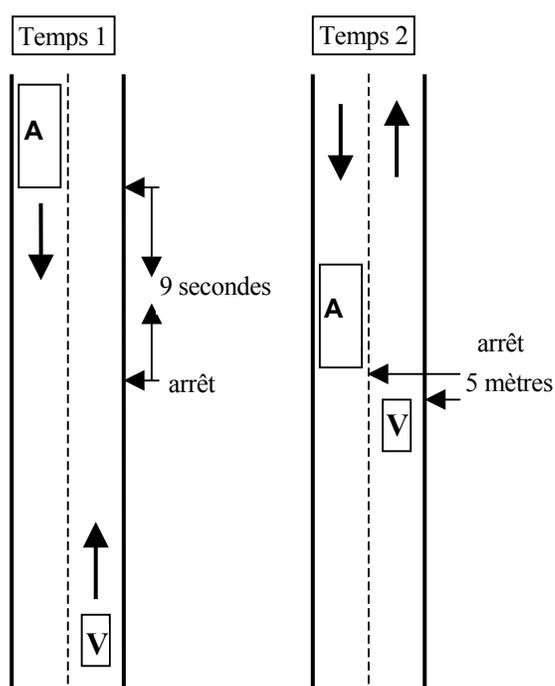
Comportement « intelligent » de l'autobus

La simulation permet de créer un autobus dont le comportement est non seulement constant, mais aussi intelligent. En effet, il réagit en s'adaptant au comportement du sujet. Lorsque ce dernier arrive à un endroit précis sur le trajet, un autobus apparaît au loin devant lui (dans le même sens ou dans le sens inverse, selon le cas). Si l'autobus apparaît dans le même sens, il circule à une vitesse légèrement inférieure à celle du sujet pour lui permettre de le rejoindre. Au moment où le sujet arrive à une distance de l'autobus qui lui permet soit de s'arrêter dans un délai raisonnable, soit de continuer sa route sans s'arrêter (compte tenu de sa vitesse à ce moment), l'autobus active son présignallement (sauf dans la condition « aucun présignallement ») pour un temps précis (selon la zone de vitesse : 70 km/h = 9 secondes et 90 km/h = 11 secondes). Ensuite, il s'immobilise et active ses feux clignotants rouges et déploie son panneau d'arrêt rétractable. Au bout de 10 secondes, il éteint ses feux et retire son panneau d'arrêt.

Condition A (même sens)



Condition B (sens inverse)



A : autobus scolaire V : voiture

Figure 2 Illustration de la condition A (même sens) et de la condition B (sens inverse) dans une zone de 70 km/h (voie simple)

Détermination de la distance entre l'autobus et la voiture du sujet lors du présignallement, ainsi que de la durée de présignallement

La distance entre la voiture du sujet et l'autobus au moment où ce dernier active son présignallement a été calculée en considérant des conditions routières normales (chaussée sèche, route droite, bonne visibilité), de façon à ce qu'en circulant dans le même sens ou dans le sens inverse, le sujet puisse s'arrêter à 5 mètres de l'autobus scolaire lorsque ce dernier active son présignallement.

En situation réelle par exemple, si un véhicule roulant à 70 km/h s'apprête à croiser un autre véhicule qui roule aussi à 70 km/h, il faut additionner les distances de freinage (voir tableau 4) de chacun des véhicules ainsi que les temps de réaction moyens (0,75 seconde) des deux conducteurs, ce qui donne un total de 89 mètres. Ainsi, en simulation, le présignallement devrait débuter à au moins 89 mètres (plus les 5 mètres de l'autobus). Cette distance permet au sujet de s'arrêter ou de continuer sa route, en ayant le temps de croiser l'autobus avant qu'il ne s'arrête, puisque le sujet

franchit, à cette vitesse, 175 mètres en 9 secondes (voir tableau 5). Ainsi, même au présignallement le plus court, le sujet peut ne pas s'arrêter sans commettre une infraction.

Tableau 4

Distances de freinage et temps de réaction en condition idéale en fonction de la vitesse

Vitesse	Temps de réaction moyen (0,75 s)	Freinage	Distance totale
70 km/h	14,5 mètres	30 mètres	44,5 mètres
90 km/h	19,5 mètres	52 mètres	71,5 mètres

Tableau 5

Distances parcourues en fonction de la vitesse pour chacun des temps de présignallement

Vitesse	9 secondes	11 secondes
70 km/h	175 mètres	214 mètres
90 km/h	225 mètres	275 mètres

Le rationnel du calcul pour cet exemple a été utilisé, en partie, pour concevoir la simulation de conduite nécessaire à cette étude. Par ailleurs, il a été indispensable de l'adapter au simulateur et à sa programmation, ce qui donne des calculs et des chiffres légèrement différents.

Lors du freinage, la décélération de l'autobus est différente de celle de la voiture à cause de la masse de l'autobus. En effet, plus la masse d'un véhicule est importante, plus la distance de freinage sera grande. Ici, la distance de freinage de l'autobus a été calculée et fixée à 2,8 mètres par seconde. Pour la voiture, le modèle physique donne une décélération équivalente à 5,95 mètres par seconde (accélération constante de -5,95 mètres par seconde) lorsque le frein est engagé au maximum. Il faut y ajouter 0,75 seconde (temps moyen) pour le temps de réaction du conducteur.

La distance entre l'autobus et la voiture du sujet, au moment du présignallement, représente la distance d'arrêt pour une situation normale en simulation (en additionnant 5 mètres de distance avec l'autobus scolaire). La distance d'arrêt en sens inverse représente la distance d'arrêt de la voiture du sujet plus la distance d'arrêt de l'autobus, tandis que dans le même sens, il s'agit de la distance

parcourue à la vitesse du sujet sans toutefois être inférieure à la distance d'arrêt du sujet. La méthode de calcul a été validée sur la base du modèle physique de la voiture.

Les temps de présignallement utilisés dans la simulation ont été calculés en utilisant les distances théoriques de freinage en condition idéale, les distances parcourues selon la vitesse ainsi que sur la base des résultats de l'étude de terrain (Bruneau, 1998). Dans ce rapport, les chauffeurs d'autobus font en moyenne un présignallement de 10 secondes. L'intervalle entre 9 et 11 secondes désigne un continuum représentatif de la réalité tout en conservant des distances de freinage réalistes.

En simulation de conduite par exemple, sachant qu'un véhicule ayant une vitesse de 70 km/h parcourt 19,44 m/s, l'autobus scolaire avec une accélération négative de $2,80 \text{ (m/s)}^2$ aura besoin de 6,94 secondes pour s'immobiliser [(formule ; $v = v_0 + a t$) $19,44 \text{ m/s} / 2,80 \text{ (m/s)}^2 = 6,94 \text{ secondes}$] et franchira une distance de 67,42 mètres [(formule ; $x = x_0 + v_0 t + 0,5 a t^2$) $6,94^2 \times (2,8 \text{ m/s})^2 \times 0,5 = 67,42 \text{ mètres}$]. Ainsi, pour 9 secondes de présignallement, il aura besoin de 6,94 secondes (67,42 mètres) d'accélération négative et de 2,06 secondes (2,06 secondes à $19,44 \text{ m/s} = 40,05 \text{ mètres}$) à 70 km/h pour un total de 107,47 mètres.

La voiture du sujet avec une accélération négative de $5,95 \text{ (m/s)}^2$ prendra 3,27 secondes pour s'immobiliser ($19,44 \text{ m/s} / 5,95 \text{ (m/s)}^2 = 3,27 \text{ secondes}$) et franchira une distance de 31,80 mètres ($3,27^2 \times 5,95 \text{ (m/s)}^2 \times 0,5 = 31,80 \text{ mètres}$). Il faut ajouter 14,58 mètres de temps de réaction (0,75 seconde à $19,44 \text{ m/s} = 14,58 \text{ mètres}$) pour une distance d'arrêt de 46,38 mètres, et ce, en 4,02 secondes. Un sujet qui ne freine pas franchira 174,96 mètres durant les 9 secondes de présignallement.

Si le sujet croise l'autobus, il lui faut, pour qu'il puisse soit s'arrêter, soit continuer sa route, une distance entre les deux véhicules au commencement du présignallement de moins de 287,43 mètres ($107,47 \text{ mètres} + 174,96 \text{ mètres} + 5 \text{ mètres} = 287,43 \text{ mètres}$) et de plus de 158,85 mètres ($107,47 \text{ mètres} + 46,38 \text{ mètres} + 5 \text{ mètres} = 158,85 \text{ mètres}$). Par conséquent, si cette situation se présente en simulation, le programme informatique de simulation « active » le présignallement de l'autobus scolaire juste entre ces deux distances.

Point de vue du conducteur en simulation

Les explications mentionnées ci-dessus permettent de comprendre de quelle manière les différents paramètres ont été calculés et sur quelles bases la programmation a été développée par l'équipe de recherche (informaticien, ingénieur et assistants de recherche). Par contre, il est important de décrire le résultat de cette programmation du point de vue du conducteur en simulation. Les sujets circulent donc dans un environnement de type semi-rural, dans un flot régulier de circulation. À 12 reprises lors du trajet de 62 kilomètres, ils vont être « confrontés » à des autobus scolaires. Lors des rencontres dans le même sens, les sujets voient poindre l'autobus au loin sur la route et peu à peu ils le rejoignent. À une certaine distance, l'autobus peut activer un présignallement (temps 1). On mesure alors l'indice de prudence pour connaître la réaction initiale du sujet. Lorsqu'il arrive à 5 mètres de l'autobus (temps 2), celui-ci est tout juste sur le point de s'immobiliser. On enregistre encore une fois l'indice de prudence qui, dans ce contexte, représente la réaction finale (arrêt ou non-arrêt) du conducteur en présence de cet autobus. La situation est identique en sens inverse, mais la distance avec l'autobus est alors plus grande, car les distances de freinage s'additionnent, comme dans la réalité. Le temps 1 est mesuré au moment où l'autobus active son présignallement (où devrait activer son présignallement dans la condition « aucun présignallement ») et le temps 2 au moment où le sujet est à 5 mètres de l'autobus (qui est sur le point de s'immobiliser). Enfin, une troisième mesure est prise une fois l'autobus arrêté, avec ses feux rouges clignotants et le déploiement du panneau d'arrêt rétractable : il y a dépassement ou non.

Schème expérimental

Il s'agit d'un plan factoriel (3 X 2) avec un groupe de 41 sujets (24 sujets masculins et 17 sujets féminins) à mesures répétées sur tous les facteurs.

Variables indépendantes

- ◆ Le mode de présignallement, avec trois niveaux : aucun présignallement, présignallement avec les feux de détresse et présignallement avec le système à feux jaunes intermittents (huit feux).
- ◆ La direction de l'autobus scolaire : dans la condition A, l'autobus circule dans le même sens que la voiture du sujet ; dans la condition B, l'autobus circule dans le sens inverse.

Variables dépendantes

- La réaction du sujet dès le début du présignallement de l'autobus scolaire (ou au moment équivalent dans la condition « aucun présignallement ») : c'est le temps 1.
- La réaction (ou décision) du sujet quand il est parvenu à 5 mètres de l'autobus scolaire (qui continue à présignaler et s'apprête à s'immobiliser) : c'est le temps 2.
- Une troisième mesure est prise une fois l'autobus arrêté, avec ses feux rouges clignotants et le déploiement du panneau d'arrêt rétractable : il y a dépassement ou non.

Variables contrôlées

- ◆ La zone de vitesse ou le type de route (70 km/h à voie simple et 90 km/h à voie double).
- ◆ La catégorie d'âge des sujets (18 à 34 ans ou 35 à 60 ans).
- ◆ Le sexe des sujets.

Autres variables recueillies

- L'expérience de conduite des sujets (nombre d'années depuis l'obtention du permis).
- Le nombre de kilomètres parcourus annuellement par les sujets.
- Le nombre d'accidents et de contraventions des sujets en situation réelle.
- La vitesse maximale des sujets en simulation.
- La vitesse moyenne des sujets en simulation.

Méthode de recrutement des sujets

Les sujets ont été recrutés par différentes méthodes :

- message d'intérêt public envoyé dans toutes les boîtes vocales de l'Université de Montréal ;
- affiches placées sur les babillards à travers le campus. Cette affiche invitait les gens de l'extérieur de l'île de Montréal à participer à une étude en simulation de conduite automobile à l'Université de Montréal ;

- prospectus apposés dans les pare-brise des voitures stationnées sur le campus de l'Université de Montréal et à proximité de celui-ci ;
- annonce dans les cours de la Faculté de l'éducation permanente (clientèle adulte).

Sujets retirés des analyses

Tel qu'il a été indiqué plus haut, 11 des 63 sujets qui ont participé à l'expérience n'ont pas complété le trajet à cause de malaises qu'ils ont ressentis en simulation de conduite. Dans la grande majorité des cas, il s'agit de sujets féminins qui ont éprouvé des nausées ou des étourdissements assez tôt au cours du trajet simulé. Les consignes données à tous les sujets à leur arrivée au laboratoire leur demandaient, en effet, de prévenir l'expérimentateur en cas de problème. On a donc conseillé à ces personnes d'arrêter l'expérience tout en les remerciant pour leur participation. Les données obtenues auprès de ces sujets n'ont pas été retenues dans les analyses des résultats de l'étude. L'annexe B donne des précisions sur les malaises que peuvent ressentir certaines personnes en simulation de conduite, associés au « mal des transports » ou à ce que certains auteurs appellent le « mal du simulateur ».

Méthode d'analyse des résultats

Mesures en simulation de conduite

La simulation étant produite et gérée par ordinateur, toutes les mesures comportementales sont recueillies de façon automatique par le même ordinateur. Un logiciel de gestion de ces mesures a permis de recueillir automatiquement toutes les données sur chacun des sujets quant aux comportements étudiés. Ces données sont également affichées à l'écran. Ainsi, l'expérimentateur a pu les noter directement, évitant alors le problème des données manquantes découlant d'erreurs informatiques.

Méthode de calcul de la réaction des sujets : l'indice de prudence

La réaction des sujets a été notée sur un continuum ayant quatre niveaux : -1 pour une réponse d'accélération (le sujet augmente la pression sur la pédale d'accélération) ; 0 pour aucune réponse (le sujet ne change pas la pression sur l'accélérateur) ; 1 pour une réponse de décélération (le sujet

relâche la pression qu'il exerçait sur l'accélérateur) ; 2 pour une réponse de freinage (le sujet applique une pression sur la pédale de frein). On a ensuite ajouté une constante de 1 aux cotes obtenues, puis calculé des moyennes à partir de ces cotes, pour obtenir un « indice de prudence » relativement aux autobus scolaires, que ce soit au début du présignallement (temps 1) ou à 5 mètres de l'autobus (temps 2). Plus cet indice, variant de 0 à 3, est élevé, plus le comportement relativement aux autobus scolaires est prudent.

Le temps 1 représente la réaction spontanée du sujet dès le début du présignallement. Si l'individu réagit à ce moment (relâche l'accélérateur, freine ou accélère), il est clair qu'il a perçu le présignallement de l'autobus scolaire. Par contre, une réaction à ce moment ne dit pas si le sujet va s'arrêter ou dépasser l'autobus. Même s'il décélère ou freine au commencement du présignallement, il dispose de suffisamment de temps (le présignallement dure 9 ou 11 secondes selon le type de route) pour reprendre de la vitesse et dépasser l'autobus. La mesure du temps 2 permet de déterminer ce que fait le sujet au moment où il est rendu à 5 mètres de l'autobus, qui continue à présignaler et s'apprête à s'immobiliser. Le sujet peut décider d'arrêter ou au contraire, s'il dispose d'une voie libre (dans le même sens ou en sens inverse), décider de garder la même vitesse ou même d'accélérer et dépasser l'autobus.

Calcul de la réaction du sujet au temps 1 (début du présignallement) et au temps 2 (à 5 mètres de l'autobus scolaire)

En se basant sur le programme informatique du simulateur, il est possible de déterminer que l'autobus scolaire apparaît à 458 mètres (1500 pieds) devant le sujet. On discerne sa forme à environ 350 mètres (1150 pieds). L'autobus scolaire devient « reconnaissable » (par sa forme et sa couleur) à partir d'une distance d'environ 300 mètres (près de 1000 pieds). Toujours en se basant sur le programme informatique, on peut déterminer que c'est à 200 mètres (près de 750 pieds) que l'autobus est nettement perçu.

La réaction au temps 1 est notée au moment où l'autobus scolaire active son présignallement (ou au même moment pour un autobus sans présignallement) ; le sujet accélère, garde la même vitesse, décélère ou freine. Cette méthode est également utilisée pour déterminer la réaction du sujet au temps 2, c'est-à-dire avant le signallement proprement dit (avec feux rouges clignotants et déploiement du panneau d'arrêt), à 5 mètres de l'autobus qui est sur le point de s'immobiliser.

Il faut préciser que dans tous les cas, le sujet a le temps de s'arrêter, mais aussi de continuer sa route avant que l'autobus n'active ses signaux d'arrêt. Dans le cadre de cette expérience, le dépassement d'un autobus scolaire est déterminé comme illégal si le sujet ne s'immobilise pas au signallement, s'il s'immobilise après avoir dépassé le panneau d'arrêt lorsqu'il est dans le même sens ou s'il s'immobilise après avoir dépassé le devant de l'autobus lorsqu'il est en sens inverse. Cette formulation n'est pas tout à fait conforme au Code de la sécurité routière (voir Code de la sécurité routière, article 460 précité), mais elle représente plus adéquatement le comportement jugé illégal par les corps policiers.

Vitesse moyenne et vitesse maximale des sujets en simulation de conduite

La distance exacte parcourue ainsi que la durée de l'exercice sont calculées par ordinateur. Les vitesses moyennes et maximales de conduite sont obtenues directement dès la fin de l'exercice.

Questionnaires

Expérience de conduite

Le questionnaire sur les habitudes et le dossier de conduite des sujets de l'expérimentation a été mis au point pour la présente étude. Le but de ce questionnaire est de recueillir l'information pertinente sur les habitudes du sujet quant à sa conduite automobile et à son dossier d'accidents et d'infractions au Code de la sécurité routière. De plus, il permet d'obtenir certains renseignements personnels pertinents à l'analyse des résultats tels que l'âge, le temps de possession du permis, le nombre de kilomètres parcourus au cours de la dernière année, etc. (voir le questionnaire en annexe A).

Questionnaire sur la connaissance du Code de la sécurité routière

Le questionnaire sur la connaissance du Code de la sécurité routière est conçu pour évaluer les connaissances des sujets sur la réglementation quant aux dépassements des véhicules scolaires. Ces connaissances sont évaluées pour les trois types de routes suivantes : routes à voie simple, à voie double et à voie double avec terre-plein, ceci dans le même sens et en sens inverse. Le questionnaire demande au sujet ce qu'il doit faire aux signalements et aux différents types de présignallement (voir le questionnaire en annexe A).

Les méthodes d'analyses statistiques

Les méthodes d'analyses statistiques utilisées sont le test T (t) de comparaison de moyennes, l'analyse de variance (F) et les coefficients de corrélation (r). Le niveau de signification retenu (p) est 0,05.

Référence

Kirk, R., E. *Statistics, an introduction*, Fourth edition, Harcourt Brace College Publishers. Orlando, Florida, USA, 1999, 704 p.

ANALYSE DES RÉSULTATS

Les résultats indiquent que les réactions des sujets diffèrent de façon importante selon qu'ils circulent dans le même sens qu'un autobus scolaire ou qu'ils le croisent. Les résultats sont donc présentés séparément pour ces deux conditions afin de bien respecter cette réalité.

L'expérience a par ailleurs été conçue de manière à tenir compte des différents types de routes le plus souvent rencontrés dans un milieu semi-rural. Les conditions « voie simple » (avec limite de vitesse de 70 km/h) et « voie double » (avec limite de vitesse à 90 km/h) se retrouvent donc dans les deux directions.

Comportements en simulation de conduite

Des mesures de comportements sont prises lors de trois moments stratégiques. Une première mesure (temps 1) est effectuée pendant l'activation du présignallement et une autre (temps 2), au moment où le sujet se trouve juste derrière (à 5 mètres) l'autobus qui va s'immobiliser dans la condition « même sens », et devant (à 5 mètres) lors du croisement de l'autobus qui va s'immobiliser, dans la condition « sens inverse ». La présentation des résultats est faite de manière à séparer ces deux temps de mesure. Rappelons que les calculs de l'« indice de prudence », au temps 1 et au temps 2, sont basés sur les quatre réactions possibles des sujets : accélération, même vitesse, décélération et freinage. Par contre, dans la présentation graphique des résultats du temps 2, les conditions « accélération », « même vitesse » et « décélération » ont été regroupées et nommées « non-arrêt » tandis que la condition « freinage » est nommée « arrêt ». De fait, tous les sujets qui ont freiné au temps 2 se sont arrêtés. Enfin, une troisième mesure est prise s'il y a lieu, une fois l'autobus arrêté, avec ses feux rouges clignotants et le déploiement du panneau d'arrêt rétractable : il y a dépassement ou non.

Condition A (l'autobus scolaire circule dans le même sens que la voiture du sujet)

Temps 1

Les sujets, au temps 1 (figure 3), ont une réaction plus prudente en présence d'un présignallement qu'en l'absence de présignallement. Les sujets ont décéléré ou freiné dans 82 % (18 + 64 %) des

situations lorsqu'il n'y avait aucun présignalment, 85 % (11 + 74 %) avec les feux de détresse et 91 % (14 + 77 %) avec les feux jaunes intermittents.

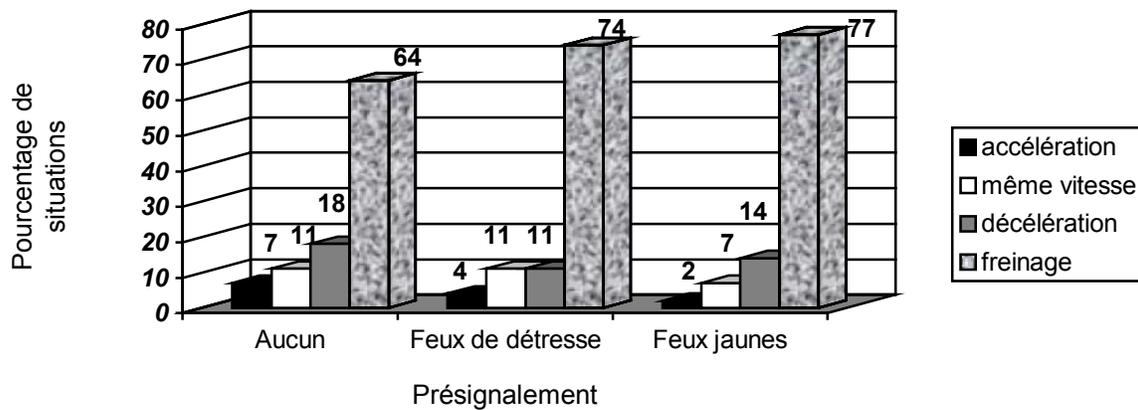


Figure 3 Réaction des conducteurs au début du présignalment de l'autobus qu'ils suivent (condition A, temps 1)

En comparant l'indice de prudence des sujets, on constate que ces derniers ne sont pas significativement plus prudents dans les situations où il y a présignalment avec feux de détresse que dans les situations avec feux jaunes intermittents ($t = 1,04$ $p = 0,302$) ou sans aucun présignalment ($t = -1,62$ $p = 0,113$). Par contre, les sujets sont significativement plus prudents dans les situations où il y a présignalment avec feux jaunes intermittents que dans les situations sans aucun présignalment ($t = 2,46$ $p = 0,018$).

Tableau 6

Les indices de prudence moyens pour chacune des situations analysées

		Aucun pré-signalment	Avec pré-signalment	Feux de détresse	Feux jaunes intermittents
Même sens	Temps 1	2,378	2,604	2,561	2,646
	Temps 2	2,195	2,592	2,500	2,683
	Temps 2 (simple)	2,829	2,817	2,829	2,805
	Temps 2 (double)	1,561	2,366	2,171	2,561
Sens inverse	Temps 1	1,256	1,500	1,232	1,768
	Temps 2	0,915	1,226	0,915	1,537

Temps 2

Les sujets, au temps 2 (figure 4), tendent davantage à s'arrêter dans les situations où ils rejoignent un autobus qui a présignalé que dans celles où aucun présignalé n'a été utilisé (77 et 85 % par rapport à 65 %). Les feux jaunes intermittents sont plus efficaces que l'absence de présignalé (85 % vs 65 %) et ils sont légèrement plus efficaces que les feux de détresse (85 % vs 77 %). Ces derniers, lorsqu'ils sont pris isolément, sont tout de même plus efficaces que l'absence de présignalé (77 % vs 65 %). En décomposant les données, on constate que le type de route (voie simple, voie double) a un effet important sur la réaction des sujets aux différentes situations de présignalé.

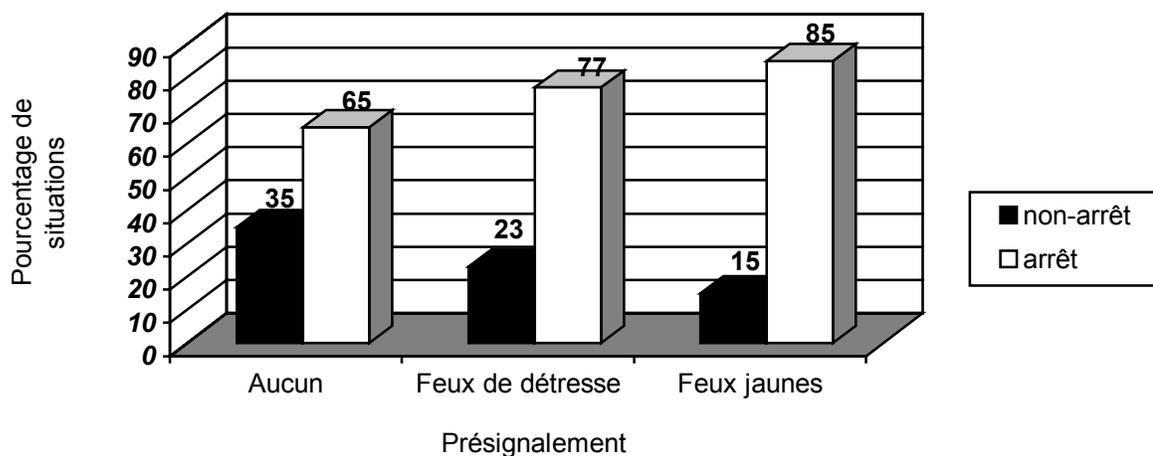


Figure 4 Réaction des conducteurs qui rejoignent un autobus, selon le type de présignalé (condition A, temps 2)

En ce qui a trait à l'indice de prudence, on constate que les sujets sont nettement plus prudents dans les situations où il y a présignallement avec feux jaunes intermittents que dans celles avec feux de détresse ($t=2,11$ $p=0,042$). Les sujets sont également plus prudents dans les situations où il y a présignallement avec feux de détresse que dans celles sans aucun présignallement ($t=-2,28$ $p=0,028$).

Sur une voie simple à 70 km/h (figure 5), la présence d'un présignallement n'a pas un effet différent de celui qu'aurait l'absence d'un présignallement sur la réaction des sujets (93 et 90 % vs 93 %). En effet, que l'autobus ait présignalé ou non, dans la grande majorité des situations, les sujets immobilisent le véhicule et attendent que l'autobus fasse son arrêt et qu'il reparte.

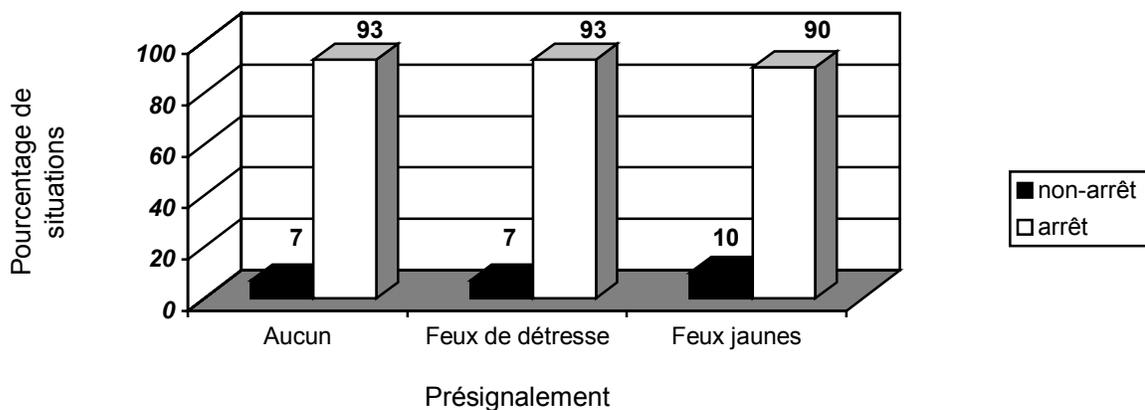


Figure 5 Réaction des conducteurs qui rejoignent un autobus en zone de 70 km/h, selon le type de présignallement (condition A, temps 2)

En ce qui concerne l'indice de prudence (toujours calculé selon la méthode décrite à la section *Méthode de calcul de la réaction des sujets : l'indice de prudence*), on ne trouve, aussi, aucune différence significative entre les types de présignallement ou l'absence de présignallement.

Par contre, la présence d'un présignallement a un effet important sur la réaction des sujets sur une route à voie double à 90 km/h (figure 6). Sans la présence du présignallement, les sujets, dans une grande majorité des situations (63 %), ne s'arrêtent pas quand ils arrivent à proximité d'un autobus qui va s'immobiliser. Par ailleurs, dans une majorité des situations, ils s'arrêtent si l'autobus a présignalé, les feux jaunes intermittents étant plus efficaces que les feux de détresse dans cette circonstance (80 vs 61 %).

Relativement à l'indice de prudence, on constate que les sujets sont nettement plus prudents dans les situations présentant un présignallement (feux jaunes intermittents ou feux de détresse) que dans les situations où le présignallement est absent ($t = -3,77$ $p = 0,001$). Les sujets, dans les situations où il y a le système à feux jaunes intermittents, sont significativement plus prudents que dans les situations avec les feux de détresse ($t = 2,51$ $p = 0,016$).

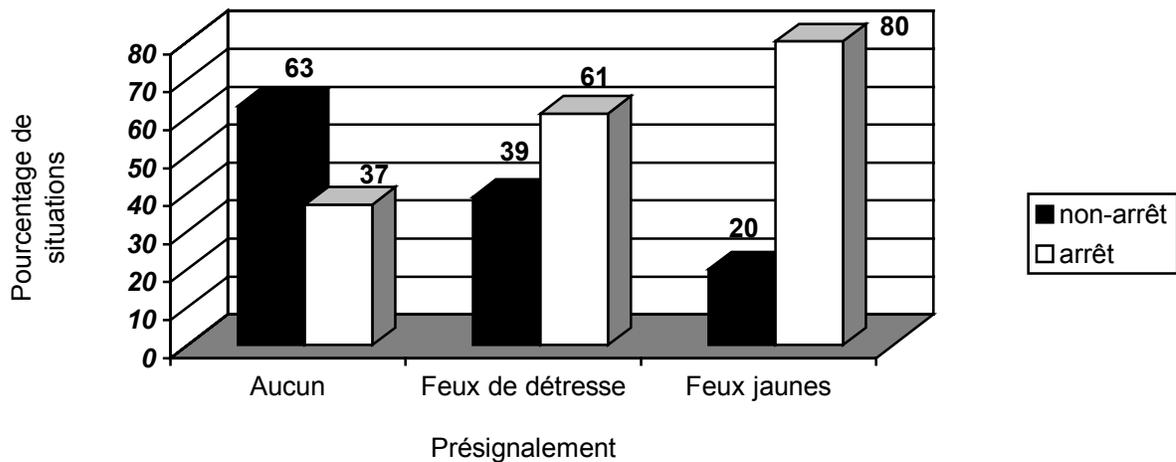


Figure 6 Réaction des conducteurs qui rejoignent un autobus en zone de 90 km/h, selon le type de présignallement (condition A, temps 2)

La situation à voie simple dans le même sens : une situation particulière

En simulation comme en conduite réelle, lorsqu'un autobus scolaire active son présignallement sur une route à voie simple, le conducteur qui suit l'autobus doit, s'il veut dépasser, aller dans la voie à sens inverse, ce qui présente un risque plus élevé. Cette situation est différente des autres, puisque le comportement du sujet est, en partie, déterminé par la situation routière en plus de la condition

expérimentale (le présignallement). Bien qu'il ne soit pas impossible pour le sujet de dépasser l'autobus lorsque ce dernier est en présignallement (d'ailleurs certains sujets l'on fait), on suppose que dans cette condition, il est plus difficile de déterminer l'effet respectif des types de présignallement (ou l'absence de présignallement).

Condition B (l'autobus scolaire circule en sens inverse de la voiture du sujet)

Temps 1

En sens inverse (figure 7), lorsque l'on isole l'effet des deux dispositifs, on réalise que l'utilisation des feux jaunes intermittents entraîne un comportement prudent dans 56 % des situations (17 + 39 %) contre seulement 30 % (8 + 22 %) pour le système de feux de détresse et 31 % (9 + 22 %) sans présignallement. Les feux jaunes intermittents sont donc plus efficaces que l'absence de présignallement et que les feux de détresse. Ces derniers ne sont pas plus efficaces que l'absence de présignallement.

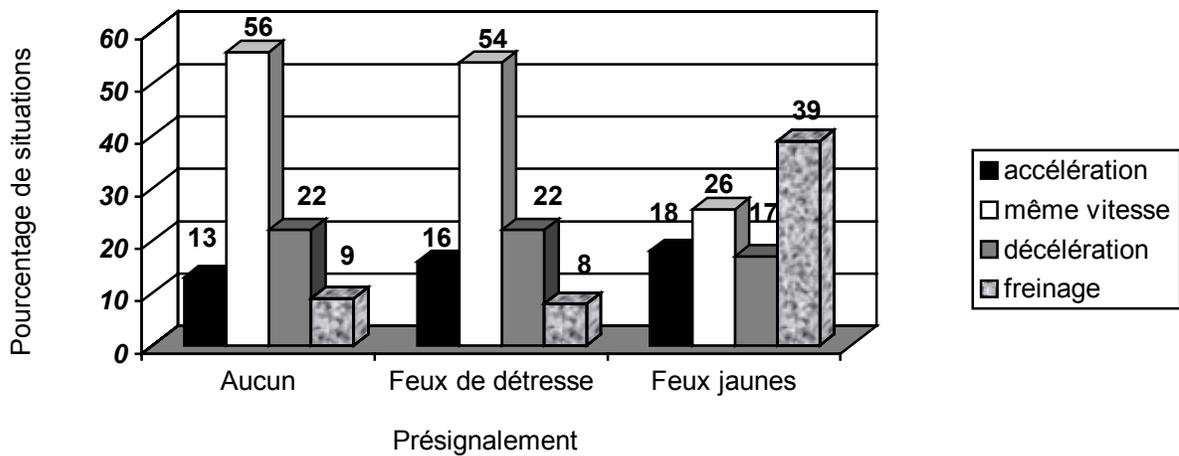


Figure 7 Réaction des conducteurs au début du présignal de l'autobus qu'ils vont croiser (condition B, temps 1)

En ce qui concerne l'indice de prudence, on constate que les sujets sont nettement plus prudents dans les situations où il y a présignal avec feux jaunes intermittents que dans celles avec feux de détresse ($t = 3,74$ $p = 0,001$) ou sans aucun présignal ($t = 3,15$ $p = 0,003$). Toutefois, on note aucune différence dans les situations où il y a présignal avec les feux de détresse et aucun présignal ($t = 0,20$ $p = 0,844$).

Temps 2

On observe, à la figure 8, que dans la majorité des situations (96, 95 et 69 %), les sujets ne s'arrêtent pas lorsqu'un autobus va s'immobiliser en sens inverse. Par ailleurs, le présignal avec les feux jaunes intermittents (31 % d'arrêt) est tout de même plus efficace que l'absence de présignal

(4 % d'arrêt) et que le présignallement avec les feux de détresse (5 % d'arrêt). Ces derniers n'ont pratiquement aucun effet sur la réaction des sujets, puisque dans la majorité des situations ils ne s'arrêtent pas (95 %). La réaction au présignallement avec les feux de détresse est identique à celle sans présignallement.

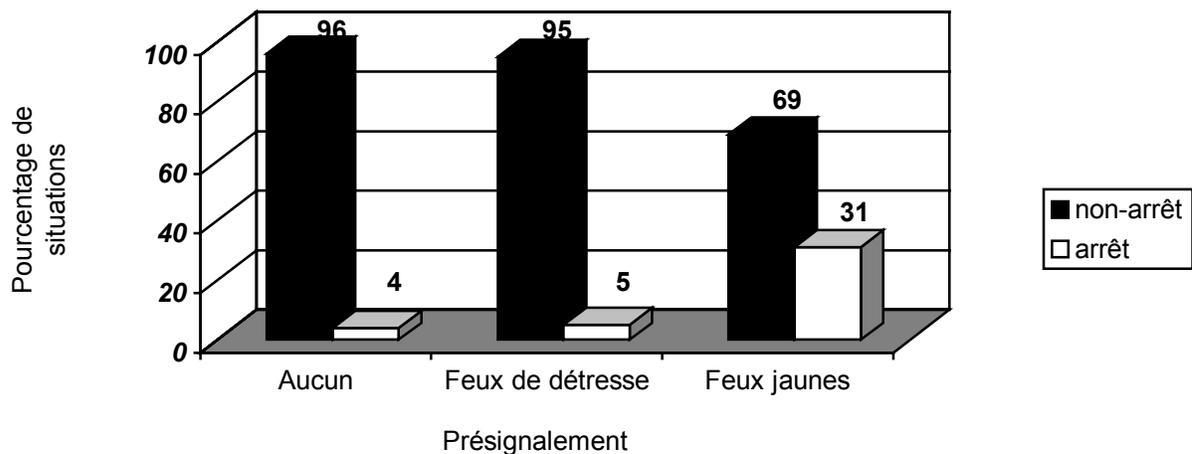


Figure 8 Réaction des conducteurs qui croisent un autobus, selon le type de présignallement (condition B, temps 2)

En ce qui a trait à l'indice de prudence, on constate que les sujets sont nettement plus prudents dans les situations où il y a présignallement avec feux jaunes intermittents que dans celles avec feux de détresse ($t = 4,57$ $p = 0,000$) ou sans aucun présignallement ($t = 5,00$ $p = 0,000$). Toutefois, on note aucune différence dans les situations où il y a présignallement avec les feux de détresse et aucun présignallement ($t = 0,00$ $p = 1,000$).

L'indice global de prudence pour les différents types de présignallement

L'indice global de prudence est calculé en faisant la moyenne, pour tous les sujets, des indices aux temps 1 et 2, et ceci pour les situations d'absence de présignallement ainsi que pour les deux types de présignallement. La division entre les situations où le sujet croise ou rejoint l'autobus scolaire a été maintenue, car les différences entre les indices sont assez importantes. Dans la figure 9, on remarque qu'il n'y a pas de différence entre l'absence de présignallement et le présignallement utilisant les feux de détresse. Par contre, on note un indice de prudence plus élevé avec les feux jaunes intermittents, particulièrement dans les situations en sens inverse.

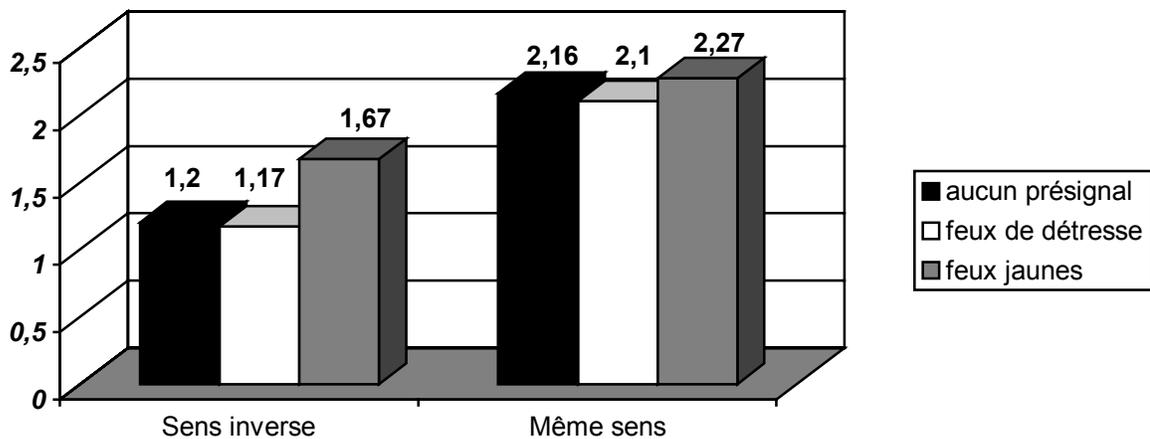


Figure 9 L'indice global de prudence selon l'absence de présignallement, le présignallement avec les feux de détresse et avec feux jaunes intermittents

Dépassements illégaux d'autobus scolaires arrêtés

Au cours de l'expérimentation en simulation de conduite, parmi tous les sujets, pour les 12 situations de « rencontre » avec un autobus scolaire, il n'y a eu aucun dépassement illégal sur feux rouges clignotants. Ce résultat est peu surprenant compte tenu qu'en conduite réelle il y a peu de dépassements illégaux d'un autobus scolaire² et compte tenu de la clarté des situations présentées ici, en simulation de conduite. En effet, les autobus sont toujours bien visibles et les feux de signalement ne sont jamais obstrués par un camion ou un autre objet. De plus, le questionnaire post-expérimental révèle que les sujets comprennent très bien la signification du signalement d'arrêt (de 97,6 à 100 % de compréhension).

Connaissance du Code de la sécurité routière

Questionnaire sur la connaissance du Code de la sécurité routière pour les dépassements de véhicules scolaires

Ce questionnaire évalue l'état des connaissances des sujets devant les différentes situations susceptibles de se présenter lors d'interactions avec des autobus scolaires. On leur demande d'indiquer quel des quatre comportements (s'arrêter dans tous les cas, ralentir pour s'arrêter, ralentir sans s'arrêter, accélérer pour dépasser) ils adopteraient en présence de 18 situations combinant les facteurs suivants :

- sens de la circulation : même sens et sens inverse ;
- feux rouges avec panneau d'arrêt rétractable, feux de détresse et feux jaunes clignotants (intermittents) ;
- trois types de routes : route à une voie, route à deux voies séparées par une ligne jaune et route à deux voies séparées par un terre-plein.

². Selon les données de la SAAQ, il y a eu, entre 1987 et 1991, une moyenne annuelle de 1105 dépassements illégaux d'un autobus scolaire sur 740 121 infractions sanctionnées, ce qui représente 1 dépassement pour 669 infractions.

Tableau 7

Résultats du questionnaire sur le Code de la sécurité routière pour une route à une voie

		S'arrêter dans tous les cas	Ralentir pour s'arrêter	Ralentir sans s'arrêter	Accélérer pour dépasser
Même sens	Feux rouges clignotants et arrêt rétractable	100 %	0 %	0 %	0 %
	Feux de détresse	19,5 %	58,5 %	19,5 %	2,4 %
	Feux jaunes clignotants	9,8 %	65,9 %	24,4 %	0 %
Sens inverse	Feux rouges clignotants et arrêt rétractable	100 %	0 %	0 %	0 %
	Feux de détresse	17,1 %	51,2 %	31,7 %	0 %
	Feux jaunes clignotants	7,3 %	70,7 %	19,5 %	2,4 %

Notes : Les résultats en caractères gras représentent le pourcentage des sujets qui ont donné la bonne ou la meilleure réponse.

Il faut bien noter que dans le tableau 7, les feux rouges clignotants sont les feux utilisés pour le signalement et non pas pour le présignalement.

Tableau 8

Résultats du questionnaire sur le Code de la sécurité routière pour une route à deux voies

		S'arrêter dans tous les cas	Ralentir pour s'arrêter	Ralentir sans s'arrêter	Accélérer pour dépasser
Même sens	Feux rouges clignotants et arrêt rétractable	97,6 %	2,4 %	0 %	0 %
	Feux de détresse	14,6 %	56,1 %	26,8 %	2,4 %
	Feux jaunes clignotants	2,4 %	68,3 %	29,3 %	0 %
Sens inverse	Feux rouges clignotants et arrêt rétractable	97,6 %	2,4 %	0 %	0 %
	Feux de détresse	12,2 %	53,7 %	34,1 %	0 %
	Feux jaunes clignotants	2,4 %	70,7 %	24,4 %	2,4 %

Notes : Les résultats en caractères gras représentent le pourcentage des sujets qui ont donné la bonne ou la meilleure réponse.

Il faut bien noter que dans le tableau 8, les feux rouges clignotants sont les feux utilisés pour le signalement et non pas pour le présignalement.

Tableau 9

Résultats du questionnaire sur le Code de la sécurité routière pour une route à deux voies avec terre-plein

		S'arrêter dans tous les cas	Ralentir pour s'arrêter	Ralentir sans s'arrêter	Accélérer pour dépasser
Même sens	Feux rouges clignotants et arrêt rétractable	100 %	0%	0 %	0 %
	Feux de détresse	14,6 %	51,2 %	31,7 %	2,4 %
	Feux jaunes clignotants	2,4 %	70,7 %	24,4 %	2,4 %
Sens inverse	Feux rouges clignotants et arrêt rétractable	41,5 %	0 %	53,7 %	4,9 %
	Feux de détresse	9,8 %	19,5 %	65,9 %	4,9 %
	Feux jaunes clignotants	0 %	31,7 %	61,0 %	7,3 %

Note : Les résultats en caractères gras représentent le pourcentage des sujets qui ont donné la bonne ou la meilleure réponse.

Regroupement des résultats selon les objectifs de l'étude

Objectif 1 : Évaluer en simulation de conduite l'effet du présignalement d'arrêt dans le transport scolaire

Ce premier objectif vise à observer si le présignalement a un effet significatif par rapport à l'absence de présignalement.

Résultats

Dans le même sens, au temps 1 : les analyses permettent de constater que les sujets ont une réaction plus prudente au temps 1 dans les situations où il y a présence d'un présignalement que dans celles sans présignalement. Par ailleurs, lorsque l'on observe isolément l'effet de chacun des dispositifs, on constate que l'effet ne se révèle qu'en présence des feux jaunes intermittents.

Dans le même sens, au temps 2 : les sujets tendent davantage à s'arrêter dans les situations où ils rejoignent un autobus qui a présignalé que dans celles où aucun présignalé n'a été utilisé.

Dans le même sens, au temps 2, voie double : le présignalé a un effet important sur la réaction des sujets sur une voie double. Sans présignalé, les sujets, dans une grande majorité de situations, ne s'arrêtent pas quand ils arrivent à proximité d'un autobus qui va s'immobiliser. Par ailleurs, ils s'arrêtent dans une majorité de situations si l'autobus a présignalé.

En sens inverse, temps 1 : il n'y a pas de différences significatives entre la présence et l'absence de présignaux, lorsque l'on combine l'effet des deux types de dispositifs. Par ailleurs, lorsque l'on isole ces deux conditions dans les analyses statistiques, on réalise que les feux jaunes intermittents sont plus efficaces que l'absence de présignalé.

En sens inverse, temps 2 : on observe que dans la majorité des situations, les sujets ne s'arrêtent pas lorsqu'un autobus va s'immobiliser en sens inverse. Par ailleurs, les feux jaunes intermittents sont plus efficaces que l'absence de présignalé et que les feux de détresse.

Objectif 2 : Évaluer en simulation de conduite l'efficacité relative de deux modes de présignalé utilisés : le système à feux jaunes intermittents (huit feux) et les feux de détresse, en rapport avec aucun présignalé, et ce, dans plusieurs situations particulières

Résultats

Dans le même sens, au temps 1 : il n'y a pas de différences significatives entre les feux jaunes intermittents et les feux de détresse. Par ailleurs, les feux jaunes intermittents sont plus efficaces que l'absence de présignalé, ce qui n'est pas le cas avec les feux de détresse.

Dans le même sens, au temps 2 : les feux jaunes intermittents sont plus efficaces que les feux de détresse et que l'absence de présignalé.

Dans le même sens, au temps 2, voie double : Les feux jaunes intermittents sont plus efficaces que les feux de détresse et que l'absence de présignalé.

En sens inverse, temps 1 : les feux jaunes intermittents sont plus efficaces que les feux de détresse et que l'absence de présignallement.

En sens inverse, temps 2 : les feux jaunes intermittents sont plus efficaces que les feux de détresse et que l'absence de présignallement. Par ailleurs, il est important de noter que les sujets, dans une majorité de situations, ne s'arrêtent pas lorsqu'ils croisent un autobus qui va s'immobiliser, même si celui-ci est muni de feux jaunes intermittents.

Objectif 3 : Évaluer les connaissances des automobilistes sur la réglementation relative au transport scolaire telle qu'elle a été prescrite par le Code de la sécurité routière

Selon l'article 460 du Code de la sécurité routière, les usagers du réseau routier doivent s'arrêter en présence d'un autobus scolaire immobilisé dont les feux intermittents sont en marche ou lorsqu'il fait usage de son signal d'arrêt rétractable. Il n'y a pas de règlement concernant l'utilisation d'un dispositif de présignallement. De plus, l'objectif poursuivi par le présignallement est d'avertir les conducteurs d'un arrêt imminent, de manière à ce que ceux-ci puissent adapter leur conduite et commencer à ralentir pour s'immobiliser. La manœuvre « ralentir pour s'arrêter » représente donc le résultat recherché. Par ailleurs, étant donné que la signification du présignallement n'a pas été présentée à la population, il est important de vérifier la compréhension qu'en ont les usagers du réseau routier.

Résultats

Sur une route à une voie, 65,9 % des sujets comprennent la signification des feux jaunes intermittents dans la condition « même sens » et 70,7 %, dans la condition « sens inverse », comparativement à 58,5 % et 51,2 % pour les feux de détresse.

Sur une route à deux voies, 68,3 % des sujets comprennent la signification des feux jaunes intermittents dans la condition « même sens » et 70,7 %, dans la condition « sens inverse », comparativement à 56,1 % et 53,7 % pour les feux de détresse.

Sur une route à deux voies avec terre-plein, 70,7 % des sujets comprennent la signification des feux jaunes intermittents dans la condition « même sens » et 61 %, dans la condition « sens inverse ». À

noter que dans cette condition le conducteur n'a pas à s'arrêter ; il peut donc être attentif et ralentir, mais continuer son chemin. Pour ce qui est des feux de détresse, 51,2 % ont une bonne compréhension pour la condition « même sens » et 65,9 %, dans la condition sens inverse.

Lorsque l'autobus est immobilisé, les feux rouges clignotants combinés au panneau d'arrêt rétractable sont bien compris par les sujets : 100 % des sujets répondent qu'il faut s'arrêter sur une voie simple, 97,6 % sur une voie double et 100 % sur une voie double avec terre-plein dans les même sens. Par ailleurs, dans la condition « sens inverse » 41,5 % des sujets sont dans l'erreur en répondant qu'ils doivent s'arrêter, alors que dans les faits il n'en est rien.

Analyses complémentaires

Temps 1

Nombre d'accidents au cours des deux dernières années

D'une manière générale, les sujets n'ayant pas eu d'accidents au cours des deux dernières années ne sont pas plus prudents, à l'égard du présignallement des autobus scolaires, que les sujets ayant eu des accidents ($F = 2,1995$ $p = 0,1461$). On note, de fait, que les sujets n'ayant pas eu d'accidents ont des scores de prudence plus élevés que les autres sujets au présignallement avec feux de détresse ($F = 1,0778$ $p = 0,3056$), au présignallement avec le système feux jaunes intermittents ($F = 2,5676$ $p = 0,1171$) et sans aucun signallement ($F = 0,2580$ $p = 0,6144$). Toutefois, ces différences ne sont pas significatives. Aussi, deux groupes ne se différencient pas, qu'ils croisent ($F = 1,3590$ $p = 0,2508$) ou suivent l'autobus ($F = 1,3318$ $p = 0,2555$).

Contraventions des sujets au cours des deux dernières années

Le fait d'avoir eu une ou deux contraventions au cours des deux dernières années n'affecte pas la réaction au présignallement en général ($F = 1,8918$ $p = 0,1647$) et ceci pas plus au présignallement avec les feux de détresse ($F = 0,4480$ $p = 0,6422$) et avec le système à feux jaunes intermittents ($F = 0,7173$ $p = 0,4945$). Par contre, lorsque l'autobus ne présente aucun présignallement, les sujets n'ayant eu aucune contravention sont nettement plus prudents ($F = 3,3230$ $p = 0,0468$). Les sujets

avec ou sans contraventions ne se différencient pas selon le sens de l'autobus lors du présignallement.

Sexe des sujets

Les femmes ne sont pas plus prudentes que les hommes lors du présignallement en général ($F = 0,1894$ $p = 0,6658$). Il n'y a pas de différences significatives selon le type de présignallement : les hommes ne sont pas moins prudents lors du présignallement avec feux de détresse ($F = 1,3072$ $p = 0,2599$). Les résultats sont semblables lorsque l'autobus n'a pas de présignallement ($F = 2,5169$ $p = 0,1207$). À noter que le présignallement avec le système à feux jaunes intermittents montre une différence inverse : les femmes sont moins prudentes que les hommes, mais cette différence n'est pas significative ($F = 1,4259$ $p = 0,2397$). En ce qui concerne le sens de l'autobus lors du présignallement, il n'y a pas de différences significatives entre les hommes et les femmes lorsqu'ils vont dans le même sens que l'autobus ($F = 3,4808$ $p = 0,0696$) ou lorsqu'ils croisent l'autobus ($F = 1,0469$ $p = 0,3125$).

Âge des sujets

Les moins de 35 ans ne se différencient pas du groupe des plus de 35 ans quant à l'indice de prudence à l'égard des autobus, et ce, peu importe le type de présignallement ou le sens de l'autobus ($F = 0,2559$ $p = 0,6158$).

Temps 2

Accidents des sujets au cours des deux dernières années

Malgré qu'ils aient un « indice de prudence » généralement plus faible, les sujets n'ayant pas eu d'accidents ne réagissent pas nettement d'une manière différente des sujets ayant eu des accidents ($F = 1,2363$ $p = 0,2730$), et ce, même en isolant le type de présignallement et le sens de l'autobus.

Contraventions des sujets au cours des deux dernières années

Le fait d'avoir eu une ou des contraventions au cours des deux dernières années n'affecte pas d'une manière significative la réaction des sujets au temps 2 ($F = 1,5256$ $p = 0,2305$), bien que ceux qui n'ont pas eu de contraventions ont en général un indice de prudence plus élevé.

Sexe des sujets

Les hommes ne se différencient pas des femmes dans leurs réactions au temps 2 ($F = 0,8742$ $p = 0,3556$). Même si les hommes se montrent moins prudents que les femmes lorsqu'ils sont en présence d'un autobus qui a présignalé avec les feux de détresse, et en présence d'un autobus dans le même sens, ces différences ne sont pas significatives sur le plan statistique (respectivement : $F = 2,6358$ $p = 0,1125$ et $F = 5,2479$ $p = 0,0275$).

Âge des sujets

Les moins de 35 ans ne se différencient jamais des plus de 35 ans quant à la réaction aux autobus au temps 2 ($F = 0,0470$ $p = 0,8294$).

Corrélations entre les autres variables recueillies et les mesures aux temps 1 et 2

Vitesse des sujets en simulation de conduite

Plus les sujets ont eu une vitesse moyenne élevée en simulation,

- plus les sujets sont jeunes ($r = -0,3136$ $p = 0,046$) ;
- plus ils ont eu une vitesse maximale élevée ($r = 0,6970$ $p = 0,000$) ;
- plus ils ont eu des contraventions en situation réelle ($r = 0,3102$ $p = 0,048$) ;
- plus ils ont un indice général de prudence faible ($r = -0,6473$ $p = 0,000$) ;
- moins ils sont prudents lors du temps 1 (en moyenne) ($r = -0,4406$ $p = 0,004$) ;
- moins ils sont prudents lors du temps 2 (en moyenne) ($r = -0,4186$ $p = 0,006$).

Plus les sujets ont eu une vitesse maximale élevée en simulation,

- ◆ plus ils ont un indice général de prudence faible ($r = -0,4997$ $p = 0,001$) ;

- ◆ moins ils sont prudents lors du temps 2 (en moyenne) ($r = -0,3803$ $p = 0,014$).

Réaction des sujets au temps 1

Plus les sujets ont été prudents lors du temps 1 (en moyenne),

- plus ils ont un indice général de prudence élevé ($r = 0,8309$ $p = 0,000$) ;
- plus ils ont été prudents lors du temps 2 (en moyenne) ($r = 0,7495$ $p = 0,000$).

Réaction des sujets au temps 2

Plus les sujets ont été prudents lors du temps 2 (en moyenne),

- ◆ plus ils ont un indice général de prudence élevé ($r = 0,8656$ $p = 0,000$).

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Cette prochaine section interprète les résultats obtenus à la lumière de certains éléments explicatifs présentés dans le contexte théorique. Par ailleurs, compte tenu du peu d'études antérieures réalisées sur la problématique de la signalisation et du présignallement des autobus scolaires, la discussion se fera également par des inférences découlant des connaissances accumulées en sciences humaines et de leurs applications à la sécurité routière. L'interprétation des résultats est présentée selon les objectifs de l'étude.

Résultats obtenus en rapport avec les objectifs de l'étude

Cette section présente les réponses que les résultats apportent aux deux premiers objectifs. Une discussion sur la signification de ces résultats sera présentée plus loin. Elle reprendra les données recueillies à l'aide des questionnaires et permettra dès lors d'atteindre le troisième objectif de l'étude, à savoir l'évaluation des connaissances des automobilistes quant à la réglementation en matière de transport scolaire.

Résultats obtenus en rapport avec l'objectif 1

L'objectif 1 consistait à évaluer en simulation de conduite l'effet du présignallement d'arrêt dans le transport scolaire.

La poursuite de cet objectif a pour but de vérifier si l'utilisation d'un présignallement, quel qu'il soit, offre un avantage pour ce qui est de la sécurité sur l'absence de présignallement. D'une manière générale, les résultats montrent que les sujets ont des réactions nettement plus prudentes lorsqu'un présignallement est utilisé. Il en est de même dans la majorité des situations expérimentales, comme l'indique le tableau 10.

Tableau 10

Avantages significatifs du présignalement

		Avantages
Même sens	Temps 1 Temps 2 Temps 2 (simple) Temps 2 (double)	Oui Oui Non Oui
Sens inverse	Temps 1 Temps 2	Non Oui

On constate qu'il n'y a pas d'avantage au temps 2 de la condition « même sens - voie simple ». Il est important de préciser que dans cette situation, la très grande majorité des sujets s'arrêtent correctement derrière l'autobus, peu importe le présignalement. L'absence d'avantage n'est donc pas un inconvénient dans ce contexte. D'autre part, le fait qu'il n'y ait pas d'avantage au temps 1 de la condition « sens inverse » s'explique par un effet inexistant des feux de détresse. Lorsque l'on sépare l'effet des deux dispositifs, le système à feux jaunes intermittents possède alors un avantage sur l'absence de présignalement.

Globalement, on peut donc considérer, selon ces données, que le présignalement pour les autobus scolaires amène un avantage significatif sur le plan de la sécurité. Il faut cependant souligner que seul le système à feux jaunes intermittents offre un avantage au temps 1 de la condition « sens inverse ».

Résultats obtenus en rapport avec l'objectif 2

L'objectif 2 consistait à évaluer en simulation de conduite l'efficacité relative de deux modes de présignalement utilisés : le système à feux jaunes intermittents (huit feux) et les feux de détresse, en rapport avec aucun présignalement, et ce, dans plusieurs situations particulières.

D'une manière générale, les résultats indiquent que les sujets ont des réactions nettement plus prudentes lors d'interactions avec des autobus utilisant le système à feux jaunes intermittents qu'en présence des feux de détresse (tableau 11). La différence observée au temps 1 de la condition « même sens » n'est, par ailleurs, pas significative et les deux systèmes y sont performants.

Rappelons cependant qu'au temps 2 de la condition « même sens - voie simple » la très grande majorité des sujets s'arrête correctement derrière l'autobus, peu importe la nature du présignallement. L'absence d'avantage n'est donc pas un inconvénient.

Tableau 11

Avantages significatifs du système à feux jaunes intermittents sur les feux de détresse

		Avantages
Même sens	Temps 1 Temps 2 Temps 2 (simple) Temps 2 (double)	Non Oui Non Oui
Sens inverse	Temps 1 Temps 2	Oui Oui

Ainsi, on peut considérer sur la base de ces données que le système à feux jaunes intermittents est globalement plus efficace que les feux de détresse et que l'avantage est particulièrement marqué au temps 2 de la condition « même sens, voie double » et aux temps 1 et 2, pour tous les types de routes en sens inverse. Par ailleurs, dans les cas où les différences ne sont pas significatives, les feux jaunes intermittents ne sont pas moins efficaces et ne présentent pas un désavantage.

Le tableau 12 permet de constater que le système à feux jaunes intermittents possède un avantage sur l'absence de présignallement dans toutes les situations expérimentales sauf au temps 2 de la condition « même sens - voie simple », ce qui ne présente, comme nous l'avons vu, aucun désavantage.

Tableau 12

Avantages significatifs du système à feux jaunes intermittents sur l'absence de présignallement

		Avantages
Même sens	Temps 1 Temps 2 Temps 2 (simple) Temps 2 (double)	Oui Oui Non Oui
Sens inverse	Temps 1 Temps 2	Oui Oui

Le tableau 13 montre cependant que les feux de détresse n'offrent pas les mêmes avantages sur l'absence de présignallement que le système à feux jaunes intermittents. En effet, contrairement à ceux-ci, les feux de détresse ne sont pas plus efficaces au temps 1 de la condition « même sens » ainsi qu'aux temps 1 et 2 de la condition « sens inverse ».

Tableau 13

Avantages significatifs des feux de détresse sur l'absence de présignallement

		Avantages
Même sens	Temps 1 Temps 2 Temps 2 (simple) Temps 2 (double)	Non Oui Non Oui
Sens inverse	Temps 1 Temps 2	Non Non

En résumé

- ❑ Les sujets ont généralement des réactions plus prudentes lors d'interactions avec des autobus qui utilisent le présignallement.
- ❑ Le système à feux jaunes intermittents est plus efficace que les feux de détresse, particulièrement sur une voie double dans le même sens, lorsqu'il est facile de dépasser l'autobus, ainsi que dans toutes les situations expérimentales en sens inverse.

Discussion

Les résultats permettent donc l'atteinte des deux premiers objectifs. On constate que le présignallement offre un avantage sur l'absence de présignallement et que le système à feux jaunes intermittents est supérieur au système avec les feux de détresse. Par ailleurs, l'observation des résultats mène également à d'autres constatations importantes sur les réactions des sujets dans leurs interactions avec les autobus scolaires. La nature et le pourcentage de ces comportements varient selon les situations expérimentales et les conditions de présignallement. Voici les observations les plus pertinentes :

Dans la condition où le sujet circule dans le même sens que l'autobus scolaire sur une route à voie double (90 km/h), on constate que dans 63 % des situations les sujets ne s'arrêtent pas lorsqu'ils arrivent à proximité de l'autobus qui va s'immobiliser sans présignallement. Ce pourcentage passe à 39 % lorsque l'autobus utilise les feux de détresse et, à 20 % avec les feux jaunes intermittents.

Cette situation est assez courante. Si l'autobus sans présignallement n'est pas encore immobilisé, que ses feux de détresse et son panneau d'arrêt rétractable ne sont pas encore en fonction, les usagers de la route ignorent ce que l'autobus va faire. Ils ont donc tendance à ne pas s'arrêter. Dans ce cas, l'avantage du présignallement est évident, puisqu'il informe les automobilistes sur les intentions du chauffeur d'autobus. Par ailleurs, dans 39 % des situations, les sujets ne s'arrêtent pas non plus lors d'un présignallement avec les feux de détresse et, 20 % avec les feux jaunes intermittents. Ainsi, dans cette situation routière, même si le présignallement est plus efficace que l'absence de présignallement et que les feux jaunes intermittents sont supérieurs, un pourcentage important de situations où les conducteurs n'ont pas le comportement souhaité par l'introduction du présignallement demeure.

Les résultats du questionnaire amènent des éléments d'explication et peuvent servir d'inspiration pour élaborer des mesures visant à améliorer la situation. On constate que dans le contexte de la condition « même sens et voie double », 26,8 % des sujets pensent que les feux de détresse indiquent aux autres véhicules de ralentir sans s'arrêter. Ce nombre passe à 29,3 % pour les feux jaunes

intermittents. Il y a donc un problème significatif de compréhension de la signification du présignallement.

Au temps 1, dans la condition où le sujet circule dans le sens inverse de l'autobus scolaire, on constate que les sujets, dans 54 % des situations, n'ont aucune réaction lors du présignallement avec les feux de détresse contre 26 % avec les feux jaunes intermittents.

Les feux de détresse sont peu efficaces en sens inverse. Il est probable qu'ils soient mal perçus à cause de leur position plus basse et de la présence occasionnelle d'automobiles qui précèdent l'autobus. On observe en effet une meilleure efficacité des feux jaunes intermittents, plus visibles parce qu'ils sont placés plus haut sur l'autobus. Il n'en reste pas moins que même avec ces feux, les sujets, dans 26 % des situations, n'ont aucune réaction, ce qui peut s'expliquer en partie par des problèmes de compréhension, comme le démontrent les résultats du questionnaire *Connaissances du Code de la sécurité routière*.

Au temps 2, dans la condition où le sujet circule dans le sens inverse de l'autobus scolaire, on constate que les sujets, dans 96 % des situations, ne s'arrêtent pas au moment de croiser un autobus qui va s'immobiliser sans présignallement. Le taux passe à 95 % avec les feux de détresse et à 69 % avec les feux jaunes intermittents.

Selon les résultats obtenus à la suite du questionnaire *Connaissances du Code de la sécurité routière*, 31,7 % des sujets considèrent que les feux de détresse, lorsque l'autobus est en mouvement, signifient qu'il faut ralentir sans s'arrêter sur une route à voie simple. Le taux passe à 34,1 % sur une route à deux voies sans terre-plein. Pour les feux jaunes intermittents, ces pourcentages sont de 19,5 % sur voie simple et de 24,4 % sur route à deux voies sans terre-plein. La meilleure compréhension des feux jaunes intermittents se traduit, dans la simulation, par un plus haut pourcentage d'arrêt (31 % versus 5 % avec les feux de détresse).

On observe par ailleurs un décalage entre ce que les sujets disent comprendre et ce qu'ils font en simulation. Ainsi, bien que 70,7 % de ceux-ci pensent qu'en sens inverse (voie simple et voie double sans terre-plein), la signification des feux jaunes intermittents est de ralentir pour s'arrêter, ils le font

dans seulement 31 % des situations. Pour les feux de détresse, dans les mêmes conditions, 52,4 % pensent qu'il faut ralentir pour s'arrêter et ils s'y conforment dans seulement 5 % des situations.

Ce décalage entre les opinions et le comportement peut s'expliquer de deux façons. Tout d'abord, le fait que les vitesses s'additionnent en sens inverse implique que les sujets ont moins de temps et d'espace pour s'arrêter à la vue d'un autobus qui présignale. Cette estimation du temps de réaction et de la distance de freinage étant un élément important dans le processus de prise de décision, il est probable que les conducteurs prennent plus facilement la décision de ne pas s'arrêter en sens inverse que dans le même sens. De plus, l'absence de réglementation quant au comportement à adopter en présence d'un présignallement peut expliquer un certain flottement dans la décision des conducteurs de s'arrêter ou de continuer, dans une situation où physiquement l'arrêt n'est pas la solution facile, et ce, même s'ils comprennent la signification du présignallement.

Conclusions

- Dans l'ensemble, les résultats confirment que l'utilisation d'un présignallement d'arrêt pour les autobus scolaires offre un avantage sur le plan de la sécurité.
- Le présignallement avec les feux jaunes intermittents (système à huit feux) entraîne des comportements nettement plus prudents que ne le fait le présignallement avec les feux de détresse.
- L'importance de cet avantage varie selon les situations expérimentales : les feux jaunes intermittents ont un avantage marqué sur les feux de détresse lors d'interactions par les sujets avec des autobus scolaires sur une route à voie double circulant dans le même sens ainsi que dans toutes les situations expérimentales en sens inverse.
- Le fait que les vitesses s'additionnent, diminuant le temps de réaction et la distance de freinage, peut expliquer, en partie, un moins grand nombre de comportements souhaités (par l'utilisation du présignallement) quand les sujets croisent un autobus scolaire que lorsqu'ils le suivent.

- Il reste que l'ensemble des résultats montre des problèmes de compréhension de la part des usagers en ce qui concerne le présignalement. Il y a lieu de poursuivre des travaux de recherche à ce sujet et d'étudier la pertinence d'effectuer des campagnes d'éducation sur la signification du présignalement dans le transport scolaire.

BIBLIOGRAPHIE

- « Improving School Bus Safety », *Transport Research Board, Special Report 222*, National Research Council, Washington, D.C., 1989, 214 p.
- BERGERON, J. « Attitudes et opinions des écoliers sur la sécurité de leurs déplacements en autobus scolaire », rapport préparé pour le ministère des Transports du Québec, 1993.
- BERGERON, J. « Relations entre les attitudes et comportements des enfants et les facteurs de vulnérabilité pouvant affecter leur sécurité dans le transport scolaire », *Routes et Transports*, vol. 24, (1), 1994, p. 57.
- BRACKETT, R. Q., MAK, K. K. et CARNAHAN, T. « Preliminary Study of Illegal Passing of School Buses », Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, College Station, Texas (Tiré de : *Transport Research Board (1989), Special Report 222, Improving School Bus Safety*, National Research Council, Washington, D.C.), 1984a.
- BRACKETT, R. Q., WOMACK, K. N. KOPPA, R., J. et MAK, K., K. « School Buses Safety Equipment Evaluation », Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, College Station, Texas (Tiré de : *Transport Research Board (1989), Special Report 222, Improving School Bus Safety*, National Research Council, Washington, D.C.), 1984b.
- BRUNEAU, J.-F. « Évaluation à bord des autobus scolaires de la sécurité de deux dispositifs de présignallement d'arrêt », préparé pour le Centre de développement des transports, Sûreté et Sécurité, Transports Canada, 1998.
- GROUPE MULTI RÉSO « Évaluation du bras d'éloignement et du détecteur de mouvements de type micro-ondes », rapport préparé pour le ministère des Transports du Québec, 1993.
- HALE, A., SHAPIRO, G., BLOMBERG, R. D. et KEARNY, E. F. « Development and Test of Rural Pedestrian Safety Countermeasures », Report DTNH22-80-C-07568, NHTSA, U.S. Department of Transportation, (Tiré de : *Transport Research Board (1989), Special Report 222, Improving School Bus Safety*, National Research Council, Washington, D.C.), 1983.
- KIRK, R. E. « Statistics, an Introduction », Fourth edition, Harcourt Brace College Publishers, Orlando, Florida, U.S.A., 1999, 704 p.
- OUMET, M-C. « La simulation de conduite : méthode prédictive de la vitesse adoptée sur la route par de jeunes conducteurs masculins », mémoire de maîtrise réalisé à l'Université de Montréal, sous la direction de Jacques Bergeron, 2000.
- PROTECTEUR DU CITOYEN. « Les enfants d'abord », rapport sur la sécurité du transport scolaire, 1995. Source Internet : www.ombuds.gouv.qc.ca/en/publications/rap_speciaux/transpor/index.htm.

QUESTIONNAIRES

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

N° du sujet : _____ H : F : Date : _____

1- Quel âge avez-vous ? _____

2- Quelle est votre occupation principale (type d'emploi) ? _____

3- Dans quelle ville habitez-vous ? _____

4- Depuis combien d'années possédez-vous votre permis de conduire ? _____

5- Possédez-vous un véhicule automobile ? Oui : Non :
Si oui, de quel type ? (modèle, année) _____

6- En tant que conducteur, combien de kilomètres avez-vous parcourus au cours de la dernière année ? _____

7- Avez-vous eu des contraventions depuis les deux dernières années (autres que stationnement) ?

Oui :

Non :

Si oui, quel est le nombre et le type de contraventions (ex. : excès de vitesse, brûler un feu de circulation, etc.) que vous avez eues ?

- 1- _____
- 2- _____
- 3- _____
- 4- _____
- 5- _____

8- Avez-vous eu des accidents (mineurs ou majeurs) depuis les deux dernières années (accidents avec rapport de police) ?

Oui :

Non :

Si oui, combien et qui était responsable ?

- 1- mineur ou majeur et responsable ou non responsable
- 2- mineur ou majeur et responsable ou non responsable
- 3- mineur ou majeur et responsable ou non responsable
- 4- mineur ou majeur et responsable ou non responsable
- 5- mineur ou majeur et responsable ou non responsable

QUESTIONNAIRE SUR LA CONNAISSANCE DU CODE DE LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE

Sur une route à une voie (une voie dans chaque sens séparée par une ligne jaune)

1- Lorsque vous suivez un autobus scolaire et qu'il active les feux rouges clignotants et le panneau d'arrêt rétractable, vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

2- Lorsque vous suivez un autobus scolaire et qu'il active les feux d'urgence (*hazards*), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

3- Lorsque vous suivez un autobus scolaire et qu'il active les feux jaunes clignotants (non pas les feux de détresse ou *hazards* mais ceux situés en haut), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

4- Lorsque vous allez croiser un autobus scolaire et qu'il active les feux rouges clignotants et le panneau d'arrêt rétractable, vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

5- Lorsque vous allez croiser un autobus scolaire et qu'il active les feux d'urgence (*hazards*), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

6- Lorsque vous allez croiser un autobus scolaire et qu'il active les feux jaunes clignotants (non pas les feux de détresse ou *hazards* mais ceux situés en haut), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

Sur une route à deux voies (deux voies dans chaque sens séparées par une ligne jaune)

1- Lorsque vous suivez un autobus scolaire et qu'il active les feux rouges clignotants et le panneau d'arrêt rétractable, vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

2- Lorsque vous suivez un autobus scolaire et qu'il active les feux d'urgence (*hazards*), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

3- Lorsque vous suivez un autobus scolaire et qu'il active les feux jaunes clignotants (non pas les feux de détresse ou *hazards* mais ceux situés en haut), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

4- Lorsque vous allez croiser un autobus scolaire et qu'il active les feux rouges clignotants et le panneau d'arrêt rétractable, vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

5- Lorsque vous allez croiser un autobus scolaire et qu'il active les feux d'urgence (*hazards*), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

6- Lorsque vous allez croiser un autobus scolaire et qu'il active les feux jaunes clignotants (non pas les feux de détresse ou *hazards* mais ceux situés en haut), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

Sur une route à deux voies avec terre-plein (deux voies dans chaque sens séparées par un terre-plein en terre ou ciment)

1- Lorsque vous suivez un autobus scolaire et qu'il active les feux rouges clignotants et le panneau d'arrêt rétractable, vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

2- Lorsque vous suivez un autobus scolaire et qu'il active les feux d'urgence (*hazards*), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

3- Lorsque vous suivez un autobus scolaire et qu'il active les feux jaunes clignotants (non pas les feux de détresse ou *hazards* mais ceux situés en haut), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

4- Lorsque vous allez croiser un autobus scolaire et qu'il active les feux rouges clignotants et le panneau d'arrêt rétractable, vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

5- Lorsque vous allez croiser un autobus scolaire et qu'il active les feux d'urgence (*hazards*), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

6- Lorsque vous allez croiser un autobus scolaire et qu'il active les feux jaunes clignotants (pas les feux de détresse ou *hazards* mais ceux situés en haut), vous devez :

- vous arrêter dans tous les cas
- ralentir et vous préparer à arrêter
- ralentir, porter attention sans s'arrêter
- accélérer de façon à dépasser l'autobus le plus rapidement possible

QUELQUES NOTES SUR LE « MAL DU SIMULATEUR »

Tel qu'il a été indiqué précédemment, 11 des 63 sujets qui ont participé à l'expérience n'ont pas terminé le trajet à cause de malaises qu'ils ont ressentis en simulation de conduite. Dans la grande majorité des cas, il s'agit de sujets féminins qui ont éprouvé des étourdissements, des maux de tête ou des nausées assez tôt au cours du trajet simulé. Les consignes données à tous les sujets à leur arrivée au laboratoire leur demandaient, en effet, de prévenir l'expérimentateur en cas de problème. On a donc conseillé à ces personnes d'arrêter l'expérience tout en les remerciant pour leur participation. Les données obtenues auprès de ces sujets n'ont pas été retenues dans les analyses des résultats de l'étude.

C'est un phénomène courant d'observer de tels malaises chez certaines personnes dans les études utilisant un simulateur de conduite. Comme technique de recherche, la simulation de conduite automobile est trop récente pour qu'on ait une compréhension claire et complète de ce phénomène. Cependant, les malaises rapportés par les sujets sont les mêmes que ceux que ressentent un bon nombre de personnes qui participent à des études utilisant un simulateur de vol, de sorte qu'on peut se servir des résultats obtenus dans le domaine de l'aviation pour en décrire les principales manifestations et en identifier les causes probables.

Les malaises rapportés par certaines personnes participant à des expériences sur simulateur de vol, sur simulateur de conduite, ou dans tout autre « environnement virtuel », consistent surtout en des manifestations d'étourdissement et de pâleur. Un sentiment de vertige, ou des maux de tête, de la nausée, une sensation de chaleur intense, une transpiration excessive, une diminution ou un accroissement de la salivation, de la somnolence, etc., peuvent également être ressentis. Les symptômes sont très variés et dépendent beaucoup des conditions présentes : l'état de santé du sujet, la fatigue, le manque de sommeil, une période de stress émotionnel, une grippe, un problème gastrique, une infection à l'oreille, une maladie des voies respiratoires, la prise de certains médicaments, etc. On observe toutefois d'importantes différences individuelles : certaines personnes sont très sensibles au « mal du simulateur », dès les premières minutes d'une expérience, alors que d'autres (c'est la majorité des gens) n'éprouvent aucun symptôme ni malaise tout au cours de l'expérience. Les études montrent qu'en général les sujets féminins sont plus susceptibles d'éprouver un malaise que les hommes et rapportent plus souvent l'un ou l'autre des symptômes décrits plus haut.

Les explications avancées font le lien entre ce qu'il est maintenant convenu d'appeler le « mal du simulateur » et les symptômes du « mal des transports » ou « mal du mouvement » (*motion sickness*). La théorie classique à ce sujet est celle de la disparité neurale (*neural mismatch*). Une disparité neurale se produit généralement quand il y a un conflit entre les signaux reçus du système visuel ou des systèmes vestibulaires et d'autres récepteurs de gravité (*gravireceptors*). Cependant, elle peut également se produire quand ces signaux diffèrent de ceux attendus par le système nerveux central. Elle peut aussi se produire en raison de conflits dans l'appareil vestibulaire même, c'est-à-dire entre les canaux semi-circulaires et les otholites.

BIBLIOGRAPHIE

- CASALI, J. G. « Vehicular Simulation-Induced Sickness », Volume 1 : An Overview, *IEOR Technical Report*, n° 8501, NTSC TR 86-010, Orlando, FL : Naval Training Systems Center, 1986.
- FINCH, M. and HOWARTH, P. A. « A Comparison Between Two Methods of Controlling Movement Within a Virtual Environment », Visual Ergonomics Research Group (VISERG), Department of Human Sciences, Loughborough University, Leicestershire, England, 1996.
- HETTINGER, L. J., BERBAUM, K. S., KENNEDY, R. S., DUNLAP, W. P, et NOLAN, M. D. « Vection and Simulator Sickness », *Military Psychology*, 2(3), 171-181, 1990.
- JOKERST, M.D., GATTO, M., FAZIO, R., GIANAROS, P. J., STERN, R. M., et KOCH, K. L. « Effects of Gender of Subjects and Experimenter on Susceptibility to Motion Sickness », *Aviat Space Environ Med* 1999 ; 70 : 962-5, 1999.
- KENNEDY, R. S., ALLGOOD, G. O., VAN HOY, B. W., et LILIENTHAL, M. G. « Motion Sickness Symptoms And Postural Changes Following Flights In Motion-Based Flight Trainers », *Journal of Low Frequency. Noise and Vibration*, 6(4), 147-154, 1987.
- KOLASINSKI, E.M. « Simulator Sickness In Virtual Environments », Technical Report 1027, U.S. Army Research Institute for the Behavioural and Social Sciences, Alexandria, VA., 1995.
- MONEY, K. E. « Motion Sickness », *Physiological Reviews*, 50(1), 1-39, 1970.
- REASON, J. T. et BRAND, J. J. *Motion Sickness*, London : Academic Press, 1975.
- TAMAGAKI, T. « Research About Driving Simulator For Older And Handicapped People, About Simulator Sickness », *Proceedings of 12th Japanese Conference of Advancement of Rehabilitation Technology*, vol. 12, pp. 87-88, 1997.

