

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS RIVIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL**

**PAR
HAITHAM OMAR AGHA EL-AREF**

**Évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants
aux arrêts d'autobus scolaires**

AVRIL 2004

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

SOMMAIRE

Transports Canada a mis sur pied un programme de recherche afin d'examiner des technologies et des procédures qui permettraient d'éliminer les accidents impliquant des enfants frappés par des autobus scolaires.

Le présent sujet vise la problématique reliée aux dispositifs de sécurité pour piétons autour d'autobus scolaires.

Une première phase avait permis la compréhension des risques encourus par les enfants autour d'un autobus scolaire lors de l'embarquement et du débarquement, et le développement d'une grille d'évaluation préliminaire permettant de déterminer sommairement les avantages des dispositifs de sécurité.

Cette phase mena à la publication d'un rapport intitulé: *Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires* et produisit plusieurs outils pouvant être utilisés pour une évaluation scientifique de dispositifs de détection de piétons autour d'un autobus scolaire.

Les principaux outils se résument ainsi :

- Une **arbre de défaillances** permettant d'identifier et de mesurer le risque qu'un enfant se fasse frapper par l'autobus scolaire;
- Des **grandes catégories de critères** qui regroupent les facteurs de risque de même type et qui ont une pondération proportionnelle à leur capacité à prévenir un accident;
- Une **grille d'évaluation** théorique permettant de quantifier la performance des dispositifs de détection.

Le présent projet a pour but de revoir et de valider les critères d'évaluation de dispositifs de protection pour piétons autour d'autobus scolaire définis lors de cette première étude afin d'obtenir une grille d'évaluation finale et fiable.

La validation des travaux antérieurs a résulté en certaines modifications des outils développés lors de la première phase.

Le projet contient aussi un guide de l'utilisateur qui a pour but d'aider les gens qui voudront utiliser les outils contenus dans ce rapport pour mesurer la performance d'un dispositif de sécurité.

On suggère aussi une stratégie pour la phase subséquente qui portera sur l'utilisation de la grille d'évaluation et les essais de dispositifs de détection.

ABSTRACT

Transports Canada set up a research program in order to examine technologies and procedures which would make it possible to eliminate accidents implying “*children struck by school buses*”.

This project aims at the problems related to safety devices for pedestrians around school buses.

The first phase had allowed the comprehension of the risks incurred by the children around a school bus at the time of loading and unloading, and to develop a grid of preliminary evaluation making it possible to summarily determine the advantages of the safety devices.

This former phase resulted in the publication of a report entitled: “*Criteria of evaluation of devices of assistance to the detection of children to the school bus stops*”. This phase produced several tools that can be used for a scientific evaluation of devices of detection of pedestrians around a school bus.

The principal tools are summarized as follows:

- A **failures tree** allowing to identify and measure the risk of a child being struck by the school bus;
- Main **categories of criteria** which gather the factors of standard risk in the same way and which have a weighting proportional to their capacity of preventing an accident;
- A theoretical **grid of evaluation** allowing to quantify the performance of the devices of detection.

The purpose of this study is to re-examine and validate the criteria of evaluation of safety devices for pedestrians around school buses thus to obtain a final and reliable evaluation grid. The validation of former work resulted in certain modifications from the tools developed at the time of the first phase.

REMERCIEMENTS

Salam alaykom.

Ce mémoire a été développé comme exigence d'une maîtrise en génie industriel, option productique, à l'Université de Québec à Trois Rivières.

Avant tout, je dois remercier ALLAH pour tout le bien et le malheur dans ma vie, ainsi que les membres de ma famille pour leur appui et le temps que je leur ai pris.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à mes directeurs de recherche M. Georges Abdul-Nour, directeur du département du génie industriel et M. Yves Dubé, professeur en génie mécanique pour leurs commentaires, pour avoir guidé l'évolution de mon travail et m'avoir permis par leurs conseils, suggestions et critiques constructives de le mener à bien.

Mes remerciements s'adressent à M. Louis-Paul Tardif et M. Jacques Bergeron, pour leurs encouragements qui ont aidé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

L'auteur se réjouit également de mentionner la compréhension et les encouragements de tous les frères et sœurs qu'il a eu le plaisir de les connaître tout au long de ses études au Québec, et spécialement à Trois Rivières. Plus particulièrement Ali Assaad : son beau-frère, Walid Ghie : Ph.D. en Génie Mécanique, Eid et les deux Myriam.

Je vous remercie tous et jazakom ALLAH kol khair.

Haytham, Abo-Mohamad.



﴿ N'as-tu pas vu comment Allah propose en parabole une bonne parole pareille à un bel arbre dont la racine est ferme et la ramure s'élançant dans le ciel? ﴾

Ibrâhîm(24).

TABLE DES MATIÈRES

Titres	Page
SOMMAIRE	ii
ABSTRACT	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	1
1.1 Introduction	2
1.2 Problématique	4
1.3 Objectifs de l'étude	5
1.4 Méthodologie	6
CHAPITRE 2 : REVUE LITTÉRAIRE	7
2.1 Recension des écrits	8
2.2 Systèmes de sécurité pour autobus scolaires (Ministère des Transports du Québec, 1996)	16
2.3 Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires (Transports Canada, 1998)	19
CHAPITRE 3 : ÉTUDES ET ÉVALUATION DES CAUSES DES ACCIDENTS AUTOUR DES AUTOBUS SCOLAIRE.....	26
3.1 Analyse des accidents	27
3.2 Analyse par Arbre de défaillances	30
3.3 Probabilité de causalité des événements	34
3.4 Critères d'évaluation de dispositifs	37
CHAPITRE 4 : DÉVELOPPEMENT D'UNE GRILLE D'ÉVALUATION DES DISPOSITIFS D'AIDE À LA DÉTECTION DES ENFANTS.....	49
4.1 Pondération des critères d'évaluation.....	50
4.2 Grille d'évaluation	55
4.3 Guide des utilisateurs des outils d'évaluation	56
4.4 Stratégie pour la sélection de dispositifs de détection	61
4.5 Vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation finale	62

CHAPITRE 5 : EXEMPLES D'APPLICATION DE LA GRILLE D'ÉVALUATION	63
5.1 Introduction.....	64
5.2 FOREWARN™: Object Detection System (Micro-Ondes)	64
5.3 ADMS (Caméra + Infrarouges)	69
5.4 BBI Safety System (jupes)	74
5.5 Barrières articulées (Bras d'éloignement)	78
CONCLUSION	81
BIBLIOGRAPHIE	83
LISTE DES ANNEXES	84

LISTE DES FIGURES

figures	Titres	Pages
1	<i>Zones cachées de la vision du conducteur sans équipements</i>	5
2	<i>Zones dangereuses autour de l'autobus scolaire</i>	42
3	<i>Zones couvertes par le système FORWARN™</i>	65
4	<i>Schéma de la portée des capteurs micro-onde</i>	66
5	<i>Les zones dangereuses autour des autobus scolaires</i>	67
6	<i>Déformation possible de la portée des capteurs</i>	68
7	<i>Portée du premier capteur infrarouge du système ADMS</i>	73
8	<i>La vision obtenue par la caméra du système ADMS</i>	74
9	<i>Zones couvertes par les barrières ouvertes</i>	78
10	<i>Schéma des barrières ouvertes en vue de face</i>	79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titres	Pages
1	<i>Recension des écrits</i>	9
2	<i>Les critères retenus et leur pondération – Étude 1998</i>	24
3	<i>Probabilité des événements indésirables</i>	87
4	<i>Facteurs inclus dans l'Arbre de défaillance avec probabilité pour chaque cause /événement de causer l'événement sommet</i>	90
5	<i>Pondération des critères d'évaluation</i>	54

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Introduction

1.2 Problématique

1.3 Objectifs de l'étude

1.4 Méthodologie

1.1 Introduction

La sécurité du transport des écoliers a depuis longtemps été une priorité pour Transports Canada et tous les intervenants impliqués dans le transport scolaire. Malheureusement, même si le nombre d'accidents impliquant des enfants autour des autobus scolaires est très faible, il n'en demeure pas moins que ces accidents se produisent. En fait, on dénombre annuellement, en moyenne, près de 4 enfants impliqués dans de tels accidents mortels et plus de 60 blessés. C'est dans ce cadre que Transports Canada a mis sur pied un programme de recherche qui vise à examiner des technologies et des procédures qui pourraient réduire et potentiellement éliminer de tels accidents.

Cette étude vise à identifier et à évaluer des Dispositifs Avancés de Détection de Piétons (DADP) qui pourraient aider le conducteur d'autobus scolaire à détecter la présence d'enfants autour de l'autobus et à les protéger.

En 1996, Transports Canada a formé un groupe de travail sur la sécurité des autobus scolaires qui a, jusqu'à présent, étudié deux problématiques reliées à l'arrêt des autobus scolaires pour l'embarquement et le débarquement des écoliers. Ces problématiques sont l'efficacité des signaux de pré-signalisation d'arrêt (feux jaunes ou rouges clignotants ou feux de détresse) et les dispositifs implantés de détection et de protection des piétons qui circulent autour des autobus scolaires. Ce projet est la troisième initiative d'étude de ce groupe de travail qui vise la problématique reliée aux dispositifs de sécurité pour piétons autour d'autobus scolaires.

La première de ces initiatives consistait à comprendre les risques encourus par les enfants autour d'un autobus scolaire lors de l'embarquement et du débarquement, et à développer une grille d'évaluation préliminaire permettant de déterminer sommairement les avantages des dispositifs de sécurité. En 1998, Transports Canada avait publié un travail effectué par le Groupe Cartier et GÉNICOM, deux firmes conseils, sur les *Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires*.

Une deuxième phase a permis d'identifier, auprès des transporteurs canadiens et américains, les types de dispositifs utilisés dans les autobus scolaires et de bénéficier de leurs expériences et de leurs appréciations face à ces dispositifs. Un rapport sur ce sujet sera publié prochainement.

La grille d'analyse qui a été élaborée lors de la première phase a permis d'identifier de façon empirique des critères d'évaluation et de caractériser ou de pondérer leur importance relative. Ces critères permettent d'évaluer la capacité d'un dispositif à :

1. éliminer ou réduire les risques d'accidents (*aspect sécurité*);
2. mesurer son impact sur la tâche du conducteur et la qualité de l'interface dispositif/enfant (*aspect ergonomique*);
3. rencontrer des exigences techniques telles que la performance, la fiabilité, la flexibilité et le respect des normes et des règlements (*aspect technique*);
4. rencontrer des impératifs économiques, notamment le coût total du dispositif, sa durée de vie utile et son stade de développement (*aspect économique*);
5. opérer dans différents environnements qui tiennent compte des émissions sonores, de l'impact visuel, et des variations d'aspects climatiques (*aspect environnement*).

Cette grille et ces critères constituent le point de départ de la présente étude. Une grille révisée et adaptée, jumelée à des exigences en matière de performance, permettra d'évaluer les dispositifs avancés de détection de piétons et d'éliminer ceux qui ne sont ni performants ni avantageux, voire même dangereux et ce, sans avoir à procéder à des tests plus onéreux en laboratoire ou sur le terrain. L'outil sera également utilisé pour l'évaluation plus poussée des dispositifs ayant pu franchir une première étape d'évaluation.

Cette première évaluation permettra d'identifier les dispositifs avancés de détection de piétons les plus prometteurs. Certains d'entre eux seront ensuite soumis à des essais contrôlés, des essais routiers et des essais en laboratoire.

Ces essais permettront d'obtenir une appréciation de la capacité d'un dispositif avancé de détection de piétons à réduire le nombre d'accidents où les enfants sont happés mortellement par leur autobus scolaire. Ils fourniront également un outil au législateur sur la pertinence d'exiger ou non l'installation de tels dispositifs dans les autobus scolaires.

1.2 Problématique

Une analyse détaillée montre que les autobus scolaires actuellement en utilisation comportent d'importants angles morts. Le chauffeur ne peut pas voir directement même avec l'aide de l'un de ses sept miroirs ce qui se passe sur le côté avant droit de son véhicule et à gauche, au bas de sa console.

En outre, l'arrière est inaccessible, son champ visuel étant bloqué comme le montre la figure 1. Sur ce schéma, on peut constater que le conducteur ne peut voir ce qui se trouve au sol qu'à cinq mètres au devant de l'autobus.

Les régions les plus à risques ou propices aux accidents sont l'avant de l'autobus et en avant de la roue arrière droite. Ces régions dangereuses sont montrées sur le schéma de la Figure 1. Ces zones sont classifiées dangereuses parce que le conducteur ne peut voir l'ensemble de ces zones et qu'elles sont propices aux accidents. Le danger le plus grand est causé évidemment par les roues du véhicule.

Il en ressort la nécessité de mettre à la disposition du conducteur un système d'aide à la sécurité pour la réalisation de manoeuvres sécuritaires.

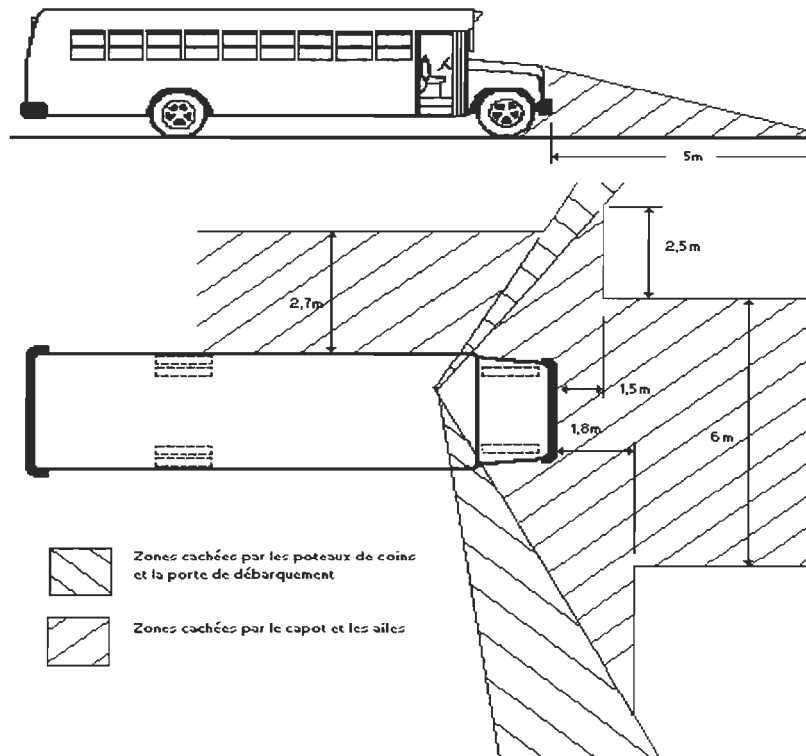


Figure 1 . Zones cachées de la vision du conducteur sans équipements

1.3 Objectifs de l'étude

Cette étude a pour but :

- De revoir et de valider les critères de sélection établis par le premier projet fait par **Génicom** afin de sélectionner les dispositifs les plus fiables.
- De revoir et de valider la démarche et les résultats de ce projet réalisé en 1998.
- De développer une méthodologie pour l'analyse de ces critères.
- D'élaborer une grille d'évaluation de dispositifs technologiques de sécurité en transport scolaire, finale et valide.

Les dispositifs considérés sont ceux qui visent à améliorer les possibilités, pour le chauffeur lors des opérations d'embarquement et de débarquement d'écoliers, de détecter la présence d'enfants dans la zone où sa vision n'est pas adéquate pour ainsi améliorer la sécurité des écoliers.

Tout au long de ce projet, un comité Aviseur-Technique (voir l'annexeA) a assuré la pertinence de la révision, de la validation et des modifications apportées aux composantes du rapport de la phase antérieure.

1.4 Méthodologie

La méthodologie utilisée pour ce projet fut la suivante :

- 1) Création d'un comité aviseur-technique (voir Annexe A)
- 2) Révision et validation des points techniques du rapport de 1998 :
 - L'arbre de défaillance
 - Les facteurs de risque et leurs pondérations
 - Les seuils de performance
 - La grille d'évaluation des dispositifs de détection
- 3) Développement d'une méthodologie pour l'analyse de critères d'évaluation.
- 4) Utilisation de cette méthodologie pour élaborer une grille d'évaluation basée sur l'arbre de défaillances. Les calculs de la grille ont été programmés sur une feuille Excel.

CHAPITRE 2

REVUE LITTERAIRE

2.1 Recension des écrits

2.2 Systèmes de Sécurité pour Autobus Scolaires (Ministère des Transports du Québec, 1996)

2.3 Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires (Transports Canada, 1998)

2.1 Recension des écrits

En 1996, le Ministère des Transports du Québec (Transport terrestre des personnes) avait publié un travail réalisé par l'UQTR, sur les *Systèmes de Sécurité pour Autobus Scolaires*. Cette étude fait l'inventaire et l'évaluation des détecteurs de présence humaine et des approches de traitement.

En 1998, Transports Canada publiait un rapport intitulé *Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires* (TP 13221 F). Ce projet avait comme objectif le développement d'une grille d'évaluation préliminaire des dispositifs de sécurité en transport scolaire.

Entre autres, ce rapport fournit une excellente identification de la problématique en transport scolaire réalisée suite à une analyse détaillée de rapports d'accidents. Il contient aussi une analyse de la tâche du conducteur et une analyse de risques d'accidents.

En plus de fournir un arbre de défaillances identifiant les situations de risque pour les enfants lors du transport scolaire, ce projet avait identifié cinq catégories de critères qui furent intégrés dans une grille d'évaluation.

Ces deux rapports seront examinés en détails plus loin dans le texte.

Le **Tableau 1** résume des articles pertinents concernant la sécurité dans le secteur des autobus scolaires.

Tableau 1 : RECENSION DES ÉCRITS

Article	Auteurs	Résumé
<p>1-NTSB Will Urge Stricter Standards For Bus Safety</p>	<p><i>Anna Wilde Mathews</i></p>	<p>On s'attend à ce que l'office national de sûreté de transport réclame des règles de sécurité plus sévères pour que les autocars et les autobus scolaires protègent mieux les passagers lors des accidents.</p> <p>Selon des personnes ayant des connaissances de la matière, l'ébauche s'arrête avant de réclamer des ceintures de sécurité dans les autobus scolaires.</p> <p>Au lieu de cela, s'il suit des recommandations professionnelles, le conseil est susceptible d'inviter les régulateurs fédéraux pour adopter une large approche à améliorer des normes censées de protéger des enfants avec des choses telles que les dos capitonnés élevés de siège.</p> <p>On s'attend à ce que cela se concentre en particulier sur la sécurité des enfants quand les autobus scolaires subissent un carambolage et sur les accidents d'impact latéral avec les grands véhicules qui deviennent plus nombreux.</p>
<p>2-Child pedestrian injuries at tram and bus stops</p>	<p><i>R. Unger, C. Eder, J. M. Mayr and J. Wernig</i></p>	<p>Afin d'analyser ces dommages et créer des directives de prévention, des dommages dans les autobus ou les arrêts de tram ont été analysés rétrospectivement. Des fiches médicales ont été analysées et des questionnaires ont été envoyés aux parents afin d'obtenir des informations détaillées sur le mode et les perturbations comportementales de suite ou post-traumatiques physiques des victimes.</p> <p>Trente enfants d'un âge moyen de 9,5 ans ont été traités au cours d'une période de six ans. (53,3%) des enfants ont été blessés sur leur chemin pour l'école et (10,0%) sur leur chemin aux jardins d'enfants.(30%) ont été blessés en traversant la rue par derrière l'autobus ou le tram.</p> <p>(16,7%) ont été blessés par des autobus, (20,0%) par des trams et (63,3%) en passant les véhicules motorisés; (40,0%) ont été blessés en étant accompagnés par des adultes.</p> <p>Dans (56,7%) la visibilité du véhicule et/ou de l'enfant était obstruée. Les points moyens de sévérité de dommages (ISS) étaient 4,5 (1-75) et le taux de mortalité était 2 sur 30 (6,7%), les deux enfants avaient été tués aux arrêts d'autobus à côté des routes de campagne.</p> <p>Traverser la route par derrière un autobus dans le domaine d'un arrêt à côté d'une route de campagne est extrêmement dangereux. Il est obligatoire d'augmenter la sécurité aux arrêts d'autobus le long des routes de campagne.</p>

Tableau 1 : RECENSION DES ÉCRITS (suite)

<p>3-Children's perception of safety and danger on the road</p>	<p><i>Ampofo-Boateng, K; Thomson, J A</i></p>	<p>Cette étude se concentre sur la capacité des enfants entre 5 et 11 ans de choisir les endroits sûrs pour traverser la rue. Les enfants ont été présentés avec différentes situations soit extrêmement sûres soit assurément dangereuses et ont été invités à identifier correctement ces dernières. Dans d'autres cas, ils ont été invités à choisir par eux-mêmes des approches à travers la route d'après ce qu'ils ont pensé être sûr. Les tâches ont été présentées de diverses manières: au moyen d'une simulation sur une table sur laquelle des scénarios du trafic avaient été conçus, au moyen de photographies des conditions de routes et en amenant les enfants aux emplacements réels dans les rues près de leurs écoles.</p> <p>Toutes les expériences ont montré un modèle semblable des résultats. Les enfants entre cinq et sept ans ont montré une compétence très faible en identifiant les emplacements dangereux de croisement des routes. Leurs jugements se sont fondés exclusivement sur la présence évidente des voitures à proximité.</p> <p>D'autres facteurs tels que les sommets aveugles, les obstacles cachés ou les jonctions complexes n'ont été jamais identifiés en tant que situations menaçantes. Ils ont également montré une réticence à faire des détours en projetant leurs propre cheminement direct même s'il présente manifestement un danger. Les enfants de neuf ans ont montré un niveau plus élevé des capacités et les enfants de onze ans ont montré la compétence tout à fait bonne dans ces jugements. Aucune différence de sexe n'était évidente.</p> <p>Ces résultats suggèrent que les enfants en bas âge jusqu'à environ 9 ans courent un risque considérable car ils n'ont pas la capacité d'identifier les endroits dangereux, même s'ils connaissent les mécanismes du feu vert. Les implications pour l'éducation de sécurité routière sont discutées.</p>
--	---	---

Tableau 1 : RECENSION DES ÉCRITS (suite)

<p>4-Evaluation of the effectiveness of a pavement stencil in promoting safe behavior among elementary school children boarding school buses</p>	<p><i>Burke, G S;</i> <i>Lapidus, G D;</i> <i>Zavoski, R W;</i> <i>Wallace, L;</i> <i>Banco, L I</i></p>	<p>Objectif: La majorité des accidents des autobus scolaires se produisent pendant que les enfants (parmi des enfants allant à l'école primaire aux États-Unis) embarquent ou débarquent des autobus. Les accidents se produisent pendant l'embarquement quand les enfants traversent la rue et sont heurtés par des autobus ou d'autres véhicules. Cette étude a évalué l'efficacité d'un pochoir dans la forme d'un autobus scolaire appliqué sur le trottoir à un arrêt d'autobus pour l'amélioration des comportements sûrs aux arrêts d'autobus. Spécifiquement, nous avons évalué la fréquence des enfants qui courent vers l'autobus pendant qu'il approchait dans la rue.</p> <p>Méthodes: Conditions : chaussées et profil du trafic semblables, avec la participation d'enfants à l'étude. Les arrêts ont été aléatoirement assignés à un groupe d'interposition, dans lequel des enfants ont été chargés de rester dans un secteur sûr pendant l'embarquement qui a été délimité par un pochoir de trottoir, ou un groupe d'éducation, dans lequel le secteur sécuritaire a été délimité par un certain dispositif environnemental existant. Les deux groupes ont reçu l'information au sujet des procédures d'embarquement sécuritaires. Les observateurs ont évalué le comportement quotidien à chaque arrêt pendant 5 semaines consécutives. Des données ont été analysées selon n'importe quel comportement non sécuritaire dans le groupe d'éducation.</p> <p>Résultats : Cent quarante cinq observations de sept arrêts d'autobus avec des pochoirs et 174 observations quotidiennes de six arrêts d'éducation ont été accomplies. Les observations des enfants dans le groupe d'éducation étaient deux fois plus fréquentes pour démontrer le comportement peu sécuritaire durant l'attente et pendant l'embarquement. On n'a observé aucune différence pendant l'embarquement entre les groupes de pochoir et ceux de l'éducation quand 10 enfants ou plus étaient aux arrêts.</p> <p>Conclusion : Le pochoir de trottoir, une fois renseigné au niveau du sujet d'embarquement sécuritaire, peut représenter une approche profitable pour réduire le comportement peu sécuritaire aux arrêts d'autobus par des enfants à l'âge d'école primaire.</p>
---	--	--

Tableau 1 : RECENSION DES ÉCRITS (suite)

<p>5-Measuring community/environmental interventions: the Child Pedestrian Injury Prevention Project</p>	<p><i>Stevenson, M; Iredell, H; Howat, P; Cross, D; Hall, M</i></p>	<p>Objectifs : Pour évaluer l'efficacité des interventions au niveau de l'entreprise communautaire et environnementale en tant qu'élément de : Child Pedestrian Injury Prévention Project (CPIPP).</p> <p>Arrangements : Les trois groupes (secteurs de gouvernement local) dans la zone métropolitaine de Perth, Australie occidentale.</p> <p>Méthodes : Une épreuve quasi-expérimentale d'interposition de la communauté a été réalisée sur une période de trois ans (1995-97). Les trois communautés ont été affectées à l'un de ces trois cas : une interposition de sécurité routière communautaire/environnementale (groupe d'interposition 1) ; une école s'est concentrée sur le programme d'éducation de sécurité des piétons seulement (groupe d'interposition 2) ; ou à aucune interposition de sécurité routière (groupe de comparaison). La quantification des diverses activités de la sécurité routière des entreprises communautaires/environnementales dans chaque communauté pendant l'essai, a été mesurée, et un index cumulatif d'activité de la communauté s'est développé. Des évaluations du volume et de la vitesse du trafic des véhicules ont été surveillées sur une période de deux ans.</p> <p>Résultats : On a observé une plus grande sécurité routière active dans le groupe 1 d'interposition comparé aux autres groupes. On a également observé une réduction significative du volume du trafic sur les voies d'accès locales au cours de la période de l'essai du groupe 1 d'interposition, mais pas pour les groupes restants.</p> <p>Conclusions : Les résultats indiquent que les diverses interventions communautaires et environnementales lancées en collaboration avec CPIPP dans l'interposition du groupe 1 ont contribué, en partie, à la réduction observée du volume du trafic. Une combinaison des interventions et d'éducation au niveau communautaire et environnementale sont susceptibles de réduire le taux des accidents de piétons au niveau des enfants.</p>
---	---	---

Tableau 1 : RECENSION DES ÉCRITS (suite)

<p>6-How safe are our schools?</p>	<p><i>Miller T.R.;</i> <i>Spicer R.S</i></p>	<p>Objectifs : Le but de cette étude était de fournir des évaluations nationales de la fréquence et du coût des accidents scolaires.</p> <p>Méthodes : Six ans de données nationales d'enquête par entrevue au niveau de santé ont été employés pour estimer des taux non mortels d'incidence des accidents, des sources multiples ont été employées pour estimer le nombre de victimes, et des données nationales au niveau des accidents de route ont été employées pour estimer l'incidence des accidents d'autobus scolaire.</p> <p>Résultats : Chaque année, 3,7 millions d'enfants souffrent de graves blessures à l'école, ayant pour résultat 3,2 milliards de dollars environ dans la dépense médicale et 115 milliards de dollars dans la santé exposée au danger. Les victimes en dehors des écoles excèdent considérablement celles des victimes scolaires, cependant, les heures scolaires ne sont pas plus sécuritaires que celles en dehors de celles-ci en dépit d'une surveillance formelle. Les accidents des autobus scolaires provoquent la moitié des décès des victimes scolaires mais moins de 1% de la totalité des coûts des accidents scolaires.</p> <p>Conclusions : Les accidents non mortels sont un des problèmes dans les écoles. La concentration des accidents aux écoles secondaires suggère que les interventions dans de tels endroits puissent être les plus profitables. Des données sur des causes d'accidents scolaires sont absolument nécessaires.</p>
---	--	--

Tableau 1 : RECENSION DES ÉCRITS (suite)

<p>7-Clothing drawstring entrapment in playground slides and school buses: Contributing factors and potential interventions</p>	<p><i>Drago D.A.;</i> <i>Winston F.K.;</i> <i>Baker S.P.</i></p>	<p>Objectifs : Pour identifier des facteurs associés à l'occlusion des enfants en les vêtant de cordons lumineux et pour explorer les stratégies d'intervention qui pourraient être mises en application pour réduire voire éliminer des accidents.</p> <p>Conception : Cinquante huit cas, rapportés à la Commission de sécurité de produits de consommation des États-Unis entre 1^{er} janvier 1985, et 30 juin 1995, a impliqué l'occlusion des cordons lumineux d'habillement des enfants parmi d'autres cas qui ont été passés en revue. Une base de données automatisée a été créée pour recenser des informations sur la victime, l'habillement, l'objet sur lequel le cordon lumineux a été fixé, et les circonstances des accidents. Des facteurs ont été analysés selon leur contribution pour empêcher les événements, les phases d'événement et post-événementiel, en utilisant une matrice modifiée de Haddon.</p> <p>Résultats : Deux modèles primaires et distincts de risque ont été identifiés:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) l'étranglement par accrochage lié à l'ébarbage d'un capot ou d'un cordon lumineux de cou (2) traînage du véhicule est associé à l'ébarbage d'une taille ou d'un cordon lumineux du fond dans une porte d'autobus scolaire. <p>Conclusions : Les stratégies potentielles d'intervention visant des cordons d'habillement incluent :</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) l'enlèvement des cordons ; (2) le raccourcissement des cordons, la couture du canal, et l'enlèvement des cabillots et des noeuds; (3) la conception des cordons détachés. <p>Basée sur des données disponibles, la seule intervention faisable est le déplacement des cordons. La surveillance améliorée et la conscience accrue sont par elles-mêmes des interventions infaisables, mais elles peuvent être des mesures supplémentaires.</p>
--	--	---

Tableau 1 : RECENSION DES ÉCRITS (suite)

<p>8-School bus related deaths and injuries in New South Wales</p>	<p><i>Cass, D T; Ross, F; Lam, L</i></p>	<p>Objectif : Rappporter les circonstances des autobus des enfants, reliées aux décès et aux blessés en Nouvelle-Galles du Sud (NSW) pour identifier des facteurs de sécurité.</p> <p>Conception : Aperçu rétrospectif en utilisant deux systèmes de surveillance: la base de données pédiatrique de revue des décès de NSW et le système sécuritaire de surveillance des accidents d'enfant.</p> <p>Patients : Enfants (0-14 ans) qui sont décédés ou ont été blessés en raison d'un incident relié aux autobus scolaires.</p> <p>Résultats : Vingt-deux décès et 58 blessés ont été enregistrés. Trois des enfants décédés étaient des passagers (les deux décès étaient reliés à un erreur de comportement), deux descendaient de l'autobus (occlusion de porte d'autobus) et 17 (77%) étaient des piétons traversant la rue avant ou après que l'autobus est parti. Les causes principales de la mort étaient perte de sang. Dix-sept des enfants blessés étaient des piétons et la plupart (82%) de ces derniers ont été soumis à des blessures sérieuses nécessitant l'admission à l'hôpital.</p> <p>Conclusions : Le plus grand risque aux écoliers au niveau des accidents reliés aux autobus était plus comme piétons après la descente d'un autobus, particulièrement en se déplaçant derrière. Les facteurs de sécurité incluent le ralentissement du trafic (40 km/h) près des autobus scolaires stationnés, et des parents attendant du côté de la route où l'enfant descend de l'autobus. Ainsi, la continuation de l'éducation de sécurité routière est importante pour les écoliers et les parents aussi bien que pour les conducteurs.</p>
<p>9-Instructing Students on Safety Procedures Can Prevent Accidents</p>	<p><i>Comeau, Lee</i></p>	<p>Le transport scolaire tourne autour de la question clé de sécurité pour les étudiants. La plupart des décès dus aux autobus scolaires, concernent les enfants marchant devant l'autobus après le débarquement.</p> <p>Des suggestions pour améliorer la sécurité sont présentées.</p>
<p>10- Panel Says School-Bus Seat Belts Not Cost-Effective</p>	<p><i>Flax, Ellen</i></p>	<p>La 'National Research Council' (NRC) a conclu qu'il y a des moyens moins chers et plus efficaces d'améliorer la sécurité des autobus scolaires que l'exigence de l'installation des ceintures de sécurité.</p> <p>Les recommandations de la NRC sont examinées.</p>

2.2 Systèmes de sécurité pour Autobus scolaires (Ministère des Transports du Québec, 1996)

Introduction

Cette étude fait l'inventaire et l'évaluation des détecteurs de présence humaine et des approches de traitement. Dans une première étape, les auteurs ont passé en revue toutes les méthodes connues de détection et de traitement dans différents domaines d'application. Pour chacun des principes connus de détection de présence humaine, les principales études et recherches ont été exposées. Ils ont effectué, dans un second lieu, l'étude des principes et méthodes de détection d'objets et de personnes quel que soit le type d'environnement possible (industriel, espace, sous-marins, ...). Les résultats de ces recherches sont ensuite analysés sous l'angle du transport scolaire.

L'évaluation est basée sur des aspects quantitatifs mais aussi sur des aspects qualitatifs incluant une cote reflétant leur jugement. Cette évaluation qualitative est effectuée à l'aide de la technique de l'évaluation multicritères et permet d'accorder une pondération pour chaque critère d'évaluation. On a effectué ensuite une évaluation des équipements disponibles sur le marché. Une procédure d'évaluation a été alors présentée.

Éléments de méthodologie

Pour ce faire, les auteurs ont réalisé une interrogation de plusieurs banques de données internationales traitant du sujet, en se basant sur des mots clés concernant : Object détection, obstacle avoidance, collision avoidance, safety,

Parmi tous les titres obtenus, particulièrement un a retenu leur attention; il s'agit d'un brevet d'invention portant sur un système de sécurité pour autobus scolaire basé sur un détecteur de mouvement (micro-onde) fonctionnant à l'arrêt de l'autobus et dont la zone sensible se superpose avec le champ de vision d'une caméra.

Cette recherche bibliographique les a amenés aux conclusions suivantes :

- Les documents et les projets en cours existant dans la littérature montrent l'importance qu'accordent actuellement les chercheurs et les industriels à la sécurité des machines et des véhicules ce qui entre dans le même domaine de leur recherche.
- Les documents obtenus seront d'une grande utilité dans l'identification des différentes approches disponibles et dans l'élaboration des critères d'évaluation des technologies de détection.

Pour pouvoir expérimenter les différentes technologies recensées ils ont reproduit la partie avant de l'autobus et ils l'ont installée au laboratoire. Sur cette plate-forme d'expérimentation et de validation ils ont installé les différents détecteurs et systèmes à évaluer. D'autres essais ont été effectués au centre d'essais de Blainville avec un autobus scolaire réel.

Objectifs de recherche

Dans le cadre de cette étude, la mission consiste à analyser le potentiel de ces technologies pour les applications dans la détection de présence humaine pour autobus scolaire.

Dans un contexte d'implantation rapide sur les autobus scolaires, cette étude porte sur les trois objectifs suivants :

- 1) définir et analyser les problèmes de la détection d'humains, d'obstacles et d'anti-collision dans le secteur du transport scolaire.
- 2) réaliser un état de l'art des systèmes de détection d'obstacles au niveau industriel et au niveau recherche.
- 3) évaluer expérimentalement certaines technologies de détection pour analyser leur potentiel dans l'environnement de travail des autobus scolaires.(ex. : caméra, capteurs infrarouge, capteurs ultrason, etc...)

Il s'agit spécifiquement de :

- passer en revue toutes les méthodes connues de détection et de traitement dans différents domaines d'application;
- exposer les principales études et recherches traitant de chacun des principes connus de détection de présence humaine;
- étudier les principes et méthodes de détection d'objets et de personnes quel que soit le type d'environnement possible (industriel, espace, sous-marins, ...). Les résultats de ces recherches seront ensuite analysés sous l'angle du transport scolaire;
- Établir une grille d'évaluation des détecteurs et de systèmes de sécurité en entier;
- Évaluer et expérimenter des détecteurs et systèmes disponibles sur le marché. Une procédure d'évaluation sera alors établie.

Notons que généralement la littérature scientifique considère implicitement que le problème de détection d'obstacles inclut celui de la détection d'humains.

Conclusion et recommandations

Un recensement de nombreux capteurs et de nombreux systèmes proposés pour la détection d'humains et d'obstacles a été effectué. Différents principes physiques sont utilisés. Dans une application en transport scolaire, le système de détection doit :

- Couvrir les zones dangereuses de l'autobus;
- Avertir le conducteur à temps pour qu'il puisse réaliser une manœuvre d'évitement de collision;

Parmi les technologies identifiées et évaluées, seuls les ultrasons, l'infra-rouge, l'optique et les micro-ondes représentent un potentiel d'application intéressant en transport scolaire. Cependant, on a remarqué que la partie traitement est demeurée très élémentaire pour la plupart des systèmes de sécurité proposés par les industriels.

Certes, le système idéal n'a pas encore été développé. Tous les systèmes qu'ils ont expérimentés nécessitent des améliorations plus ou moins importantes. Cependant, certains systèmes représentent des performances supérieures à d'autres.

2.3 Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires (Transports Canada, 1998)

Introduction

Le rapport intitulé *Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires* avait trait à une étude sur le développement de critères d'évaluation des dispositifs de sécurité en transport scolaire. Elle avait pour but de donner aux décideurs en transport scolaire un outil qui leur permettrait d'évaluer la panoplie de dispositifs de sécurité disponibles sur le marché. L'étude aborda également les éléments suivants:

- Description du contexte et de la problématique de la sécurité en transport scolaire au Québec (le Québec servait alors de cadre de référence pour cette étude),
- Revue des technologies et dispositifs présentement utilisés ou pouvant être appliqués dans le domaine du transport scolaire,
- Étude ergonomique de la tâche du conducteur d'autobus scolaire,
- Analyse des risques d'accidents reliés aux opérations d'arrêt et de départ et d'embarquement et de débarquement, suite à ces analyses, identification, définition, catégorisation et pondération des critères impliqués dans l'analyse des dispositifs, et
- Formulation de recommandations pour la phase subséquente.

Problématique

Concernant la problématique, le rapport du Groupe Cartier se pencha principalement sur la capacité du dispositif à détecter des enfants lors des phases d'embarquement et de débarquement.

Selon le rapport: "L'identification et l'analyse des exigences qu'implique la tâche de conducteur d'autobus de même que des types, circonstances et liens de causalité des accidents/incidents associés aux opérations d'arrêt, de départ et d'embarquement et de débarquement des écoliers permettront d'obtenir une image globale des différents éléments influençant la sécurité en transport scolaire et ainsi de statuer sur les critères essentiels devant faire partie d'une évaluation des dispositifs."

L'analyse de la tâche du conducteur contenue dans cette étude considère plusieurs éléments ayant des interactions entre eux. Cette analyse a été effectuée suite à une revue de la littérature et à des séances d'observation sur le terrain.

Elle a permis de confirmer que des critères d'évaluation de dispositifs devaient vérifier si un dispositif peut s'adapter aux différences anthropométriques et aux capacités physiques, sensorielles et mentales des conducteurs. Ces dernières incluent notamment la force musculaire, le pouvoir de détection visuelle, la capacité de discrimination des sons et la capacité d'apprentissage. L'étude de la tâche du conducteur a permis de démontrer que d'autres variables externes aux conducteurs peuvent être influentes, telles les caractéristiques de l'arrêt et des écoliers, le nombre d'écoliers, le type de route, etc. Elle a aussi permis d'identifier et de regrouper, par activité, l'ensemble des variables pouvant influencer les exigences physiques, sensorielles ou mentales du conducteur. Cette analyse facilitera par la suite l'étude du risque grâce à l'élaboration d'un arbre de défaillances.

Arbre de défaillances

Pour comprendre les risques encourus par les enfants, deux sources principales de données ont été utilisées, soit les statistiques et dossiers d'accidents et l'observation de la tâche du conducteur.

Ces données permirent de faire ressortir les principaux facteurs de risque reliés au transport scolaire. Toute cette information mena à l'élaboration d'un arbre de défaillances qui présente une structure de l'ensemble des événements indésirables qui peuvent conduire à un accident et à la probabilité d'occurrence d'une grande partie des événements indésirables.

Il faut rappeler ici que cette méthode est utilisée pour déterminer les diverses combinaisons possibles d'événements ou de causes qui entraînent la réalisation d'un événement indésirable. Elle permet de représenter graphiquement ces combinaisons d'événements au moyen d'une structure arborescente. L'illustration de l'arbre de défaillances est présentée à l'Annexe B.

Cet arbre de défaillances est basé sur une recherche approfondie de toutes les causes possibles et immédiates d'événements indésirables. Cette recherche a été réalisée à partir de trois sources d'information: les statistiques d'accidents, l'observation sur le terrain et la consultation auprès d'un groupe de discussion formé de conducteurs d'autobus scolaires.

Ces causes ont ensuite été regroupées en utilisant des liens logiques qui décrivent la relation entre les différents événements. L'événement indésirable se retrouve au sommet de l'arbre et correspond à l'événement que l'on veut éviter. Donc, pour chaque cause ou événement, un pourcentage a été identifié représentant la probabilité que cet événement soit responsable de l'occurrence de l'événement du niveau supérieur immédiat et menant à l'événement sommet.

Comme on peut le constater, l'étude du Groupe Cartier a permis d'illustrer l'ensemble des causes possibles d'accidents où l'autobus scolaire peut entrer en collision avec un enfant et résulter en la réalisation de l'évènement sommet <Enfant est heurté par l'autobus>.

Selon l'arbre de défaillances, deux conditions sont nécessaires pour qu'un autobus heurte un enfant. Il faut que l'enfant soit dans la trajectoire de l'autobus ou que l'autobus se déplace. Si l'une de ces deux conditions est absente, il ne peut y avoir d'accidents.

Utilisant l'arbre de défaillances pour faire le lien entre les évènements, ainsi que les statistiques d'accidents et les consultations et observations auprès des conducteurs, le rapport du Groupe Cartier fait ensuite la synthèse de la probabilité d'occurrences des évènements pouvant conduire à l'accident où l'autobus scolaire heurte un enfant. Cette information permettra de statuer sur l'importance relative des évènements indésirables et des facteurs de risque aidant ainsi à définir et à pondérer les critères se rapportant à la capacité du dispositif à les éliminer.

Critères d'évaluation

Les critères retenus suite à cette analyse furent de cinq (5) ordres:

- Sécurité: élimination du risque
- Ergonomie: Impact sur la tâche du conducteur et interface avec l'enfant
- Économie: Investissement à consentir
- Technologie: Performance, fiabilité et flexibilité du système
- Environnement: Intégration du système à l'environnement physique

L'aspect **sécurité** a été qualifié comme le plus important car selon l'étude cet aspect représente la raison même de l'existence des dispositifs de sécurité dans le secteur du transport scolaire. Les critères reliés à l'aspect sécurité sont directement inspirés des évènements indésirables constituant l'arbre de défaillances.

Deux principaux objectifs étaient visés sous ce critère:

- Déterminer la façon ou le moyen offert par le dispositif pour diminuer le risque qu'un autobus heurte un enfant;
- Délimiter le champ d'action du dispositif (zones couvertes) et son moment d'action.

Pour sa part, le critère **ergonomie** porte sur les relations entre le dispositif et les principaux acteurs de la sécurité en transport scolaire, soit le conducteur et les enfants. Les critères de nature ergonomique proviennent surtout des connaissances acquises lors de l'analyse des tâches réalisée dans le cadre du projet réalisé par le Groupe Cartier. Cet aspect ergonomique se définit par deux critères généraux:

- L'impact sur la tâche du conducteur
- La qualité de l'interface dispositif/enfants

Le critère **économique** est quant à lui basé sur trois critères:

- Le coût total
- La durée de vie utile
- Le stade de développement

L'aspect **technologique** touche surtout la performance, la fiabilité et l'efficacité des dispositifs de sécurité. Cet aspect est basé sur des études similaires déjà effectuées sur les dispositifs de sécurité en transport scolaire.

L'aspect **environnement** physique portait sur le fait que la mise en place de dispositifs de sécurité ne devait pas produire de nuisances sonores ou visuelles.

Pondération des critères d'évaluation

Par la suite l'étude donna des poids relatifs à ces catégories de critères.

Le Tableau 2 résume les critères d'évaluation retenus ainsi que leurs pondérations d'après l'étude faite par GÉNICOM.

Tableau 2. LES CRITÈRES RETENUS ET LEUR PONDÉRATION

(Source: Groupe Cartier, 1998)

CATÉGORIES DE CRITÈRES/Critères	Pondération
SÉCURITÉ	50 %
<u>Type d'action (un ou l'autre)</u>	/100
. Prévention de la présence d'un enfant	100
. Détection de la présence d'un enfant	95
. Aide au conducteur pour voir l'enfant	70
. Aide au conducteur pour percevoir les signaux	20
<u>Champ d'action</u>	/100
. Localisation des régions couvertes	%
. Proportion des régions couvertes	%
. Moment d'action	%
ERGONOMIE	25 %
. Impact sur la tâche du conducteur	70
. Qualité de l'interface dispositif/enfants	30
TECHNIQUE	15 %
. Respect des normes et règlements	«Go/no go»
. Performance du dispositif	60
. Fiabilité du dispositif	30
. Flexibilité du dispositif	10
ÉCONOMIE	8 %
. Coût total du dispositif	40
. Durée de vie utile du dispositif	40
. Stade de développement	20
ENVIRONNEMENT	2 %
. Émissions sonores	70
. Impact visuel	30

Les pondérations suggérées faisaient en sorte que les critères sécurité et ergonomie représentaient 75% de la pondération. Ce poids avait été retenu en fonction de l'importance de ces catégories.

Dans le cas de la sécurité, cela était basé sur le fait que le dispositif devait aider le conducteur à détecter la présence d'enfants quel que soit l'endroit où ils se trouvent autour du véhicule et réagir de manière à avertir le conducteur de manière claire.

Dans le cas de la catégorie ergonomique, il ne fallait pas que le dispositif ajoute à la tâche du conducteur, soit sécuritaire et ne suggère pas à l'enfant des comportements à risque.

Conclusion

Le rapport recommanda aussi que l'évaluateur établisse une note de passage qui, si non atteinte, permettrait d'éliminer tout dispositif sans même regarder les autres catégories.

La justification des pondérations était préliminaire et, tel que souligné, par les auteurs du rapport *Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires*, ces pondérations se devaient d'être révisées.

L'un des objectifs du présent projet est de revoir et de valider la démarche et les résultats de ce projet conclu en 1998, et ce dans le but de fournir à Transports Canada un outil de décision dans le cadre d'essais avec des dispositifs de sécurité qui seront sélectionnés suite à une évaluation d'une gamme de dispositifs soumis par des organismes intéressés.

CHAPITRE 3

ÉTUDE ET ÉVALUATION DES CAUSES DES ACCIDENTS AUTOUR DES AUTOBUS SCOLAIRE

3.1 Analyse des accidents

3.2 Analyse par arbres de défaillances

3.3 Probabilité de causalité des événements

3.4 Les critères d'évaluation de dispositifs

3.1 Analyse des accidents

- **Introduction**

L'objectif poursuivi par la présente analyse des risques d'accidents est d'identifier et d'ordonner, en fonction de leur probabilité d'occurrence, les causes réelles ou possibles d'une catégorie ciblée d'accidents, soit celle où l'autobus heurte un enfant.

La méthodologie de la collecte d'information et de l'analyse utilisée comprend trois volets : l'analyse des statistiques d'accidents, les observations ainsi que la génération de scénarios.

L'analyse des statistiques et dossiers d'accidents est une méthode descriptive servant à identifier les problèmes. Elle est très utile pour déterminer la fréquence et la gravité des accidents qui se sont produits au cours d'une période donnée. Elle permet également d'évaluer le rôle de certains facteurs pouvant être associés aux accidents. Il faut cependant demeurer conscient des limites de l'analyse des dossiers d'accidents. En effet, les accidents constituent des phénomènes rares ne se produisant jamais exactement de la même façon ni avec les mêmes conséquences. Quant aux statistiques d'accidents, ce sont de (mauvais) estimateurs de la probabilité de risque. Un enchaînement d'événements très similaire à un autre peut engendrer des conséquences totalement différentes au point où l'un sera comptabilisé comme accident et pas l'autre.

L'observation de la réalisation de la tâche du conducteur d'autobus, pour sa part, est effectuée en vue de déterminer plus particulièrement les difficultés ou exigences auxquelles les conducteurs sont confrontés. Cette étape est une partie (intégrante) de l'étude ergonomique présentée par GÉNICOM. Tout comme l'analyse des statistiques et des dossiers d'accidents, les données obtenues de l'observation comportent des déficiences importantes pour l'évaluation des dangers réels. Par conséquent, il est évident que la probabilité de signaler un accident est très faible puisque la durée d'observation est limitée et cela même si la probabilité d'occurrence d'un accident aurait été très élevée.

On comprend évidemment que ce qui nous intéresse n'est pas l'accident en soit, mais plutôt les signes traduisant un risque potentiel de celui-ci.

Enfin, la méthode de la génération de scénarios est sans contredit le meilleur outil pour évaluer les risques. Elle doit se faire évidemment dans le respect de la logique, de la cohérence, des lois de la physique et des connaissances relatives à la tâche (variables, exigences) acquises lors de l'étude ergonomique. Les scénarios peuvent être décrits ou représentés sous la forme d'un arbre de défaillances. Les différents événements constituant l'arbre ont été identifiés et quantifiés sur la base des résultats de l'analyse des dossiers d'accidents, des observations et de l'appréciation que les conducteurs eux-mêmes ont du risque (faite par GÉNICOM). Cette approche, plutôt analytique, permet non seulement d'identifier les éléments qui interviennent dans les accidents, mais également les relations qui existent entre ces éléments de même que leur rôle dans l'incidence de la catégorie ciblée d'accidents, c'est à dire celle où l'autobus heurte un enfant.

L'information découlant de cet exercice sera d'une grande utilité lors de la définition des critères. Elle permettra plus particulièrement d'évaluer de quelle manière et avec quelle efficacité un dispositif de sécurité pourra diminuer le risque d'accidents.

- **Analyse des accidents**

Une analyse des accidents en transport scolaire a été réalisée afin de connaître les circonstances et les liens de causalité des accidents survenus au Canada lors des phases d'approche, d'embarquement/débarquement et de départ des autobus scolaires.

Cette analyse repose sur une revue de la documentation sur le sujet complétée par des informations provenant du fichier informatisé TRRID de Transports Canada de même que sur une étude des rapports des Coroners des différentes provinces canadiennes. Les documents de référence consultés proviennent des organismes suivants :

- Société d'assurance automobile du QUEBEC (SAAQ)
- Transports Canada
- Ministères des Transports de l'Ontario et de la Colombie-Britannique
- Bureaux des Coroners des provinces canadiennes.

Pour fins de comparaison, GÉNICOM a également consulté un document traitant des accidents d'autobus scolaires survenus aux États-Unis. Il s'agit d'une parution du <<Transportation Research Board National Research Council>>, intitulée: <<Special Report 222 – Improving School Bus Safety>>.

➤ Documentation

La revue de la documentation sur les accidents impliquant des autobus scolaires a fourni de l'information sur les circonstances des accidents (autobus en circulation, autobus arrêté, etc.), les types d'accidents (collision routière, perte de contrôle, etc.) et les victimes (écoliers, piétons, cyclistes, occupants des véhicules impliqués, etc.). Ces documents couvrent en général tous les accidents impliquant des autobus scolaires. GÉNICOM n'en a retenu que les données pertinentes à la présente étude, soit celles portant sur les accidents où un autobus scolaire heurte un piéton d'âge scolaire lors des phases d'approche, d'embarquement/débarquement ou de départ.

➤ Rapports des Coroners

L'analyse des rapports de décès des Coroners des différentes provinces canadiennes est pour sa part beaucoup plus riche en information. En effet, ces rapports ne concernent que les accidents à l'étude et contiennent des renseignements plus précis quant aux différentes circonstances des accidents.

Selon un document publié par Transport Canada (Collision impliquant des autobus scolaires, 1986-1995), il y aurait eu 33 accidents mortels impliquant des autobus scolaires et des piétons d'âge scolaire lors des phases d'approche, d'embarquement/débarquement ou de départ pendant cette période. Les données contenues dans ces rapports ont été analysées en détail et comparées aux informations tirées de la revue de la documentation.

Cette analyse des circonstances, des causes et des types d'accidents permet de faire ressortir les principaux facteurs de risque liés au transport scolaire. Ces informations seront très utiles lors de l'élaboration de l'arbre de défaillances faite par GÉNICOM qui présente une structure des événements indésirables qui peuvent conduire à un accident. Grâce aux données statistiques, il sera notamment possible d'établir la probabilité d'occurrence d'une bonne partie des événements indésirables.

3.2 Analyse par arbres de défaillances

- **Introduction :**

La méthode d'analyse de sécurité par les arbres de défaillances est la plus largement utilisée pour l'analyse de la fiabilité, de la disponibilité et de la sécurité des systèmes. De nombreux spécialistes en prévention des accidents utilisent également cette méthode qui est aussi connue sous le nom d'arbre de causes, d'arbre des défauts ou d'arbre des fautes. Selon eux, l'accident est considéré comme un indice de dysfonctionnement d'un système que constitue l'usine, l'atelier ou le poste de travail. La notion de système amène à examiner non seulement les éléments qui composent le système, mais aussi leurs relations.

Cette méthode a pour objectif de déterminer les diverses combinaisons possibles d'événements ou de causes qui entraînent la réalisation d'un événement indésirable. Elle permet de représenter graphiquement ces combinaisons d'événements au moyen d'une structure arborescente.

GÉNICOM présente les résultats de l'analyse des accidents liés au transport scolaire à l'aide de la méthode des arbres de défaillances. Cette analyse se limite uniquement aux accidents où l'autobus heurte un enfant lors des opérations d'approche, d'embarquement/débarquement et de départ.

- **Méthodologie**

Bien que l'élaboration de l'arbre de défaillances soit une technique régie par certaines règles et principes bien définies, il est encore très difficile de la formaliser. L'approche adoptée ici reprend une bonne partie de ces principes en les adaptant au problème de la sécurité en transport scolaire.

Une des premières étapes a été de rechercher toutes les causes possibles et immédiates des événements indésirables. Ce travail a été réalisé à partir de trois principales sources d'informations : les statistiques d'accidents, l'observation sur le terrain des tâches du conducteur et la consultation auprès d'un groupe de discussion. Cette consultation réunissait des personnes familières avec la sécurité en transport scolaire.

GÉNICOM a d'abord identifié les événements indésirables, c'est-à-dire les événements que l'on désire éviter. Un enfant qui se fait heurter par le pare-chocs avant du véhicule ou qui glisse sous la roue arrière en sont des exemples. GÉNICOM a ensuite analysé les conséquences de la tâche du conducteur d'autobus : conducteur, écoliers, autres personnes impliquées, autobus, autres véhicules, lieux et conditions environnementales et organisationnelles.

Ces informations ont servi à construire les principales racines d'un arbre de défaillances synthétisant l'ensemble des accidents où l'autobus est directement en cause. Cette structure a été utilisée lors d'une séance de génération d'idées impliquant un groupe formé principalement de conducteurs d'autobus. Durant cette séance, le groupe a été amené, par un processus déductif, à identifier les causes probables des événements indésirables.

Ces causes ont ensuite été regroupées sous la forme d'arborescences en utilisant des liens logiques qui décrivent la relation entre les différents événements. L'événement indésirable au tout début de l'arbre, appelé l'événement <<sommet>>, correspond alors à l'accident que l'on désire éviter.

Enfin, GÉNICOM a associé à chaque cause ou événement un pourcentage représentant la probabilité que cet événement soit responsable de l'occurrence de l'événement du niveau supérieur immédiat. Par exemple, si un événement X a comme cause immédiate l'événement A ou l'événement B et que A explique 60% de l'occurrence de l'événement X alors B est responsable dans 40% des cas. Cette analyse a permis de déterminer, pour chaque événement, la probabilité qu'il soit responsable de l'accident <<sommet>> .

- **Arbre de défaillances**

L'arbre de défaillances, qui a été construit, correspond à la représentation graphique de la combinaison des événements qui conduisent à l'accident ou l'événement sommet général : <<enfant est heurté par l'autobus>>. Cet arbre est formé de niveaux successifs d'événements tels que chaque événement est généré à partir des événements de niveau inférieur par l'intermédiaire d'opérateurs logiques. Ces événements sont habituellement des erreurs humaines, des défauts et des défaillances de matériel, de conditions détériorées, etc.

L'arbre a été construit en utilisant les deux principaux opérateurs du symbolisme logique de BOOLE : le (ET) et le (OU). Le (ET), représenté par le symbole 1, signifie que les événements doivent se réaliser simultanément, alors que le symbole (OU), illustré par le symbole 2, est utilisé lorsqu'un seul des événements est nécessaire pour que l'événement de niveau supérieur se réalise.

Symbole 1 : Et \cap , Symbole 2 : Ou \cup

L'aspect graphique de l'arbre de défaillances est complété à l'aide d'autres symboles. Le **rectangle** correspond à un événement résultant de la combinaison d'autres événements. Le **losange** est un événement de base dont les causes pourraient être recherchées et détaillées mais ne le seront pas tout de suite.

La représentation graphique de l'arbre de défaillances est présentée à l'annexe (Annexe B). Comme on peut le constater, il a été possible d'illustrer l'ensemble des accidents où l'autobus entre en collision avec un enfant à l'aide d'un seul et même arbre ayant comme événement sommet : <<Enfant est heurté par l'autobus>>.

- **Interprétation**

L'arbre de défaillances original se retrouve à l'annexe (Annexe B). De plus, tous les facteurs inclus dans cet arbre sont énumérés à l'annexe (voir tableau 4). Ce tableau permet une lecture plus facile de tous les facteurs incorporés dans l'arbre.

Un examen de ces causes par l'équipe de consultants et par le Comité aviseur-technique (Annexe A), a permis de constater que l'arbre de défaillances représentait un outil des plus complets et seul deux ajouts pouvaient à ce stade-ci améliorer l'arbre. Ces ajouts ne sont pas, en fait, des facteurs nouveaux ou additionnels, mais plutôt des précisions aux facteurs existants. Les facteurs suivants ont donc été modifiés:

Événement # 20: Enfant veut rejoindre quelqu'un ou quelque chose, ***s'immobilise brusquement pour ramasser quelque chose ou revient sur ses pas pour ramasser quelque chose***

Il est possible et, fut noté, que l'enfant revient parfois sur ses pas soit, pour revenir chercher quelque chose qu'il aurait oublié à bord de l'autobus ou, tout simplement pour ramasser quelque chose qui serait tombé au sol. Ces cas peuvent amener le conducteur à perdre de vue l'enfant pour une fraction de seconde ou tout simplement, à croire que l'enfant poursuit son chemin sans penser qu'il peut revenir brusquement sur ses pas.

Événement # 62: Miroirs reflètent une image distordue ***ou sont mal ajustés***

Dans le cas de cet ajout, un miroir mal ajusté peut augmenter le risque en affectant le champ de vision du conducteur dans les zones dangereuses autour de l'autobus scolaire.

Comme ces points ne font qu'ajouter des précisions aux facteurs déjà existants, ils n'ont pas été ajoutés à l'arbre de défaillances en Annexe B, mais sont inclus dans la description des facteurs de l'arbre au Tableau 4.

3.3 Probabilité de causalité des événements

- **Méthode de calcul**

On doit présenter la méthode utilisée pour déterminer la probabilité que les différents événements indésirables, constituant l'arbre de défaillances, puissent être à l'origine de l'accident dans lequel un autobus heurte un enfant, aussi appelé l'événement sommet. Cette probabilité a été calculée en deux étapes :

- *Étape 1 : Établissement de la probabilité qu'un événement soit la cause de l'événement du niveau supérieur.*

Dans l'arbre de défaillances, chaque événement peut être causé par les événements qui le suivent, sauf s'il s'agit d'un événement de base. Ces événements sont reliés entre eux par des portes logiques qui définissent le lien qui existe entre eux. Ce lien peut être de deux types; <<ET>> ou <<OU>>.

La porte <<ET>> signifie qu'un événement se produira uniquement lorsque tous les événements du niveau inférieur immédiat se réaliseront. Ces derniers sont donc la cause de l'événement supérieur dans 100% des cas.

- *Étape 2 : Calcul de la probabilité qu'un événement soit la cause de l'événement sommet.*

Cette étape consiste à calculer quelle est la probabilité pour chacun des événements de l'arbre d'aboutir à l'événement sommet. Ceci se fait en multipliant les probabilités des différents événements intermédiaires qui conduisent à l'événement sommet.

- **Établissement et calcul des probabilités**

Avant même de procéder au calcul de la probabilité qu'un événement conduise à l'événement sommet selon la méthode décrite auparavant, on doit établir en pourcentage la probabilité qu'un événement soit la cause de l'événement du niveau supérieur immédiat et ce pour tous les événements de l'arbre reliés à leur événement supérieur par une porte logique <<OU>>. Pour ce faire, deux sources d'informations ont été utilisées par GÉNICOM : les statistiques d'accidents recueillies lors de l'analyse des dossiers d'accidents et la consultation auprès d'un groupe de conducteurs.

- Statistiques d'accidents :

le travail consiste essentiellement à mettre en relation les renseignements tirés de l'analyse des statistiques d'accidents et des rapports des Coroners avec les différents événements de l'arbre de défaillances afin de pouvoir en déduire toutes les correspondances possibles. En d'autres mots, il s'agissait de vérifier si l'information concernant les événements était incluse dans les statistiques d'accidents et de calculer la proportion des accidents dans lesquels ces événements sont impliqués.

- Consultation des conducteurs :

Une séance de consultation a été organisée par GÉNICOM spécifiquement pour obtenir des conducteurs d'autobus scolaires leur perception de risque. Quatorze conducteurs expérimentés se sont donc prêtés à un exercice qui consistait à déterminer la probabilité relative que les événements de l'arbre de défaillances reliés avec une porte logique <<OU>> soit la cause directe de l'événement supérieur immédiat.

Les résultats obtenus par l'entremise de ces deux sources d'informations correspondent aux valeurs présentées au tableau 3 (voir l'annexe) sous la rubrique << Événement du niveau supérieur immédiat >> dans les colonnes intitulées <<Analyse des accidents>> et <<Perception du risque des conducteurs>>.

Lorsqu'on compare ces résultats, on remarque des différences plus ou moins importantes entre les valeurs obtenues selon les deux approches; et c'est normal puisque la réponse des conducteurs fait partie de leur point de vue et cela peut varier avec l'actualité des accidents et l'intention de l'enfant.

L'analyse des résultats obtenus selon les statistiques d'accidents, la consultation auprès des conducteurs et les connaissances acquises par des analystes lors de l'étude de la tâche du conducteur d'autobus scolaire a permis de faire une synthèse de la probabilité accordée à chaque événement. Celle-ci est présentée au tableau 3 sous la rubrique <<Événement du niveau supérieur immédiat>> après être corrigée. À partir de cette synthèse, on a déterminé la probabilité de chaque événement d'être la cause de l'événement sommet selon la méthode de calcul décrite auparavant. Les résultats finaux corrigés de ce calcul sont également présentés au tableau 3 (voir l'Annexe) sous la rubrique <<Événement sommet>>.

- **Conclusion et interprétation :**

Une analyse des risques d'accidents a été réalisée suivant trois principaux volets : l'analyse des statistiques d'accidents, les observations et la génération de scénarios.

L'analyse statistique des accidents a été effectuée à partir de documents de sources principalement canadiennes. Il s'agissait en grande partie de documents présentant les résultats statistiques de compilations d'accidents et des rapports des Coroners décrivant les circonstances de certains accidents.

Des observations réalisées dans le cadre de l'étude ergonomique de la tâche du conducteur ont également servi à analyser les facteurs de risques impliqués dans les accidents en transport scolaire. Ces observations visaient à déterminer les difficultés et les risques potentiels auxquels les conducteurs sont confrontés dans l'exercice de leurs fonctions.

Enfin, la méthode de la génération de scénarios, pour sa part, a permis de représenter graphiquement les combinaisons d'événements indésirables au moyen d'une structure arborescente appelée : arbre de défaillances. L'objectif était alors de déterminer les diverses combinaisons possibles d'événements ou de causes pouvant entraîner un accident. Seuls les accidents où l'autobus heurte un enfant étaient considérés.

À l'aide de ces trois approches, il a été possible de déterminer la probabilité d'occurrence des événements pouvant conduire à l'accident qui nous préoccupe soit celui où l'autobus heurte un enfant. Cette information permet de statuer sur l'importance relative des différents facteurs de risque, ce qui sera d'une grande utilité lors de l'élaboration et de la pondération des critères d'évaluation. En effet, la connaissance de l'importance relative des événements indésirables ou facteurs de risques dans l'accident aidera à définir et à pondérer les critères se rapportant à la capacité du dispositif à les éliminer.

3.4 Les critères d'évaluations de dispositifs .

- **Analyse de l'impact de l'implantation d'un dispositif**

L'identification des critères permettant l'évaluation des dispositifs de sécurité doit nécessairement passer par une analyse de l'impact de l'implantation de ces derniers. Cette analyse consiste à identifier les interactions existant entre un dispositif de sécurité quelconque possédant ses propres caractéristiques (de volume d'encombrement, d'emplacement, de mode de fonctionnement, de prix, etc.) et les différentes facettes du contexte dans lequel il sera implanté. Ces interactions seront évaluées par l'entremise de critères spécifiques regroupés à l'intérieur d'une grille d'évaluation.

L'analyse de l'impact de l'implantation d'un dispositif étant faite par GÉNICOM, modifiée dans cette étude, indique les différents aspects selon lesquels cet impact risque le plus de se faire sentir. Ces aspects de même que les éléments qu'ils incluent sont les suivants :

- *Sécurité* : élimination du risque ainsi que des questions supplémentaires.
- *Ergonomie* : impact sur la tâche du conducteur, interface avec l'enfant et autres facteurs ergonomiques.
- *Économie et Autres facteurs* : investissement à consentir et garantie.

➤ Sécurité :

Le premier et probablement le plus important des aspects est la sécurité des enfants. Dans le cadre du présent projet, un environnement sécuritaire serait un environnement où le risque qu'un enfant soit heurté par l'autobus n'existe plus. Cet aspect représente la raison même de l'existence des dispositifs de sécurité dans le secteur du transport scolaire.

Ces dispositifs ont le pouvoir d'influencer, de manière plus ou moins significative, l'occurrence d'accidents impliquant un autobus scolaire. Pour connaître son impact réel en terme de sécurité, il suffit de connaître les facteurs de risque ou événements indésirables que le dispositif permet d'éliminer ou d'éviter. Ces événements indésirables ont été identifiés et organisés sous la forme d'un arbre de défaillances (Annexe B) lors de l'analyse de risque.

➤ Ergonomie :

La sécurité des enfants lors du transport scolaire repose en grande partie sur le conducteur. Comme il a été possible de le constater lors de l'étude ergonomique, celui-ci exécute une tâche qui implique de nombreuses exigences variant selon les activités. L'ajout d'un dispositif de sécurité peut donc modifier de manière plus ou moins importante la tâche du conducteur. Cette modification peut s'exprimer en termes de nuisances ou d'exigences supplémentaires. En conséquence, un dispositif adapté aux caractéristiques du conducteur (anthropométrie, capacité, posture, etc.) aura un impact beaucoup moins marqué.

De plus, comme il est nécessairement en relation avec les enfants qui circulent autour de l'autobus, le dispositif doit également être bien adapté et sécuritaire pour ces derniers. Pour ce faire, il doit tenir compte des variations possibles de certaines caractéristiques comme l'anthropométrie, la posture, la localisation et le comportement des enfants.

➤ Économie et Autres facteurs :

L'impact de l'insertion d'un dispositif donné sur le coût des services de transport scolaire est également l'un des aspects devant faire partie de l'évaluation de ce dernier. Un dispositif permettant de réduire, voire d'éliminer les risques d'accidents et de diminuer la tâche du conducteur à un coût moindre, sera à privilégier ; ainsi que ce dispositif soit assuré.

Le même raisonnement s'applique quant à l'impact du dispositif au point de vue environnemental. Un dispositif performant et sécuritaire sera d'autant plus intéressant qu'il ne produira aucun impact sonore excessif.

• Les critères retenus :

➤ Les critères << SÉCURITÉ >> :

Les critères liés à la sécurité du transport scolaire ont été directement inspirés des événements indésirables constituant l'arbre de défaillances élaboré dans le cadre de l'analyse de risques. Il s'agit d'événements qui, selon un enchaînement particulier, peuvent conduire à l'accident au sommet de l'arbre, c'est-à-dire que l'autobus heurte un enfant d'âge scolaire.

Cette catégorie de critères vise trois principaux objectifs :

- 1) Déterminer la façon ou le moyen adopté par le dispositif pour diminuer le risque qu'un autobus heurte un enfant :

C'est-à-dire la capacité du dispositif à détecter et prévenir la présence d'un enfant dans les zones dangereuses, de même que sa capacité à avertir le conducteur de cette présence et de lui permettre de différencier un enfant de tout autre objet comme un animal ou un sac d'école.

- 2) Délimiter le champ d'action du dispositif, c'est-à-dire la portion des zones couvertes par celui-ci :

C'est le champ d'action des dispositifs qui tient compte de la capacité du dispositif à couvrir la surface comprise dans les zones dangereuses définies à la Figure 2. La pondération est proportionnelle au pourcentage des zones couvertes.

- 3) Délimiter aussi le temps de protection ou de détection du dispositif, c'est-à-dire le début et la fin de l'état de protection de celui-ci :

C'est le moment et la durée de la protection ou de détection des dispositifs. Dans ce cas-ci, l'accent est mis sur les dispositifs qui se mettent en marche puis s'arrêtent lorsque l'autobus est en mouvement. Il est à noter que la pondération est plus élevée si le dispositif fonctionne lorsque l'autobus est sur le point de s'arrêter ou de quitter la zone d'embarquement ou de débarquement. Dans ces situations, l'autobus se déplace à faible vitesse et parcourt une distance relativement courte. Le comité-aviseur est d'avis qu'un système qui ne fonctionne pas lorsque l'autobus scolaire est en mouvement (immédiatement avant et après l'arrêt) est un système moins performant.

Ainsi, les éléments techniques, auparavant regroupés sous leur propre thème, sont maintenant regroupés sous le critère sécurité car plusieurs de ces éléments peuvent être mesurés et reliés directement à l'activation des dispositifs de sécurité. Ces critères techniques peuvent être évalués en fonction de la façon ou du moyen dont le dispositif dispose pour diminuer le risque qu'un autobus heurte l'enfant. Ils peuvent aussi servir à façonner le champ d'action du dispositif.

Considérant ce qui précède, nous avons retenu les critères suivants pour l'évaluation des dispositifs :

1) Types d'action du dispositif :

De façon générale, il existe deux moyens par lesquels un dispositif peut diminuer le risque : soit qu'il améliore la possibilité de détection de l'enfant dans la zone dangereuse, soit qu'il empêche un enfant d'être dans la zone dangereuse. S'il s'agit d'un dispositif qui améliore les possibilités de détection, il sera nécessaire de distinguer celui qui détecte la présence d'un enfant dans la trajectoire d'un autre dispositif qui aide seulement le conducteur à détecter sa présence.

La prévention de la présence d'un enfant dans les zones dangereuses :

Pour qu'un autobus heurte un enfant, il faut que ce dernier se déplace et qu'il se trouve dans la trajectoire du déplacement. Par conséquent, un dispositif peut éviter l'occurrence d'un accident non seulement en évitant que l'autobus ne se déplace, mais également en empêchant qu'un enfant ne se retrouve dans la trajectoire de celui-ci.

La détection d'un enfant :

La présence d'un enfant dans la trajectoire de l'autobus peut être détectée par le dispositif et ce, même en l'absence de l'intervention du conducteur. La cote attribuée à ce type de système sera alors déterminée en fonction de sa réponse ou de sa réaction à la détection. Celle-ci peut être soit d'empêcher l'autobus d'avancer, soit de signaler la présence de l'enfant ou encore de repousser l'enfant hors de la trajectoire de l'autobus.

L'aide au conducteur pour voir l'enfant :

Actuellement, un enfant présent dans la trajectoire de l'autobus est exposé à un risque élevé d'accident s'il n'est pas vu par le conducteur. Ceci est en partie relié à l'existence de zones autour de l'autobus qui ne peuvent être vues de manière directe ou indirecte par le conducteur. Ce sont des zones dites aveugles. Un dispositif pourrait, donc, permettre au conducteur de voir l'enfant, soit en éliminant les zones aveugles ou bien en empêchant

l'enfant de se retrouver dans celles-ci. La figure 2 illustre quelles sont les zones dangereuses d'après une étude menée par l'UQTR.

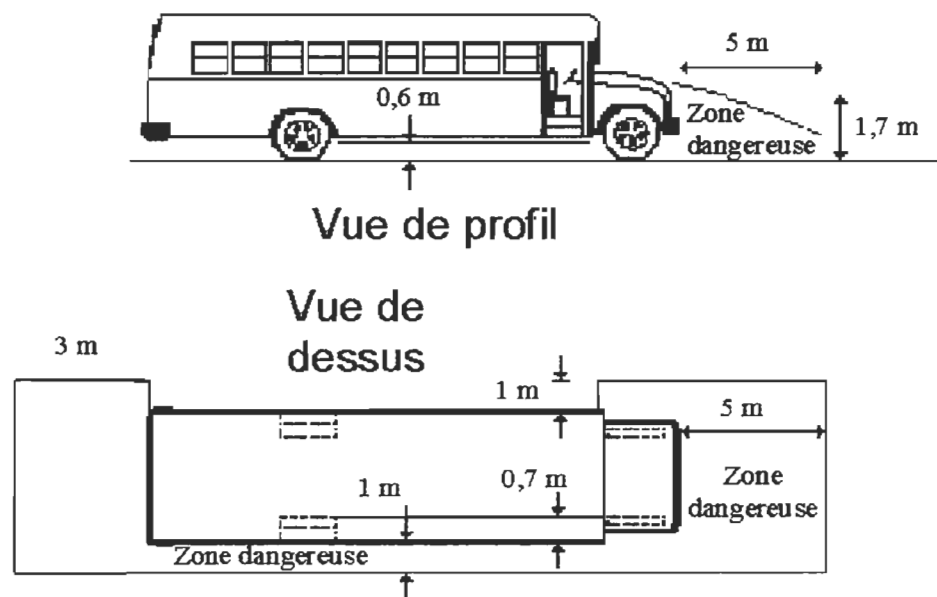


Figure 2 . Zones dangereuses autour de l'autobus scolaire

Un conducteur peut également ne pas voir l'enfant pour des raisons liées à la qualité de la visibilité: l'environnement est sombre, il neige abondamment, les fenêtres et les miroirs sont embués et givrés, etc. Le dispositif pourrait, par conséquent, permettre d'éviter un accident s'il fait en sorte que l'enfant soit vu clairement par le conducteur.

Il existe deux principaux moyens d'améliorer la visibilité du conducteur :

- Le premier consiste à améliorer le contraste entre l'enfant et son environnement. Ceci peut être réalisé en augmentant l'éclairage ou en modifiant la réflectivité de l'enfant afin que ce dernier ne soit pas confondu avec son environnement ou en évitant que le conducteur ne soit ébloui par des sources lumineuses trop intenses (par exemple : le soleil).

- Le second moyen consiste à diminuer ou à éliminer les parasites compromettant la clarté de la vision. Pour y parvenir, il faut, soit éliminer ou diminuer suffisamment les effets des intempéries sur la visibilité, soit améliorer la clarté de l'image réfléchi par les miroirs ou soit permettre aux miroirs et fenêtres de rester propres et exempts de buée, givre, glace ou autres.

Enfin, lors de certains accidents, le conducteur peut ne pas voir l'enfant parce qu'il est inattentif, qu'il a oublié de regarder, qu'il ne considère pas qu'il doit regarder ou encore parce que son attention a été détournée. Pour pallier à cette éventualité, le dispositif peut aider le conducteur à concentrer son attention sur la zone où se trouve l'enfant, soit en l'obligeant ou en lui rappelant de porter attention à toutes les zones potentiellement dangereuses, soit en limitant le nombre de points de vue nécessaires aux vérifications d'usage. On entend par vérifications d'usage, le fait de vérifier, par exemple, s'il peut réintégrer la circulation, s'il y a quelqu'un dans une zone à risque ou si les enfants sont bien assis dans l'autobus.

2) **Champ d'action**

Les renseignements concernant le moyen par lequel un dispositif peut diminuer le risque d'accident sont, cependant, très peu significatifs sans la connaissance de l'étendue de son champ d'action. C'est pourquoi celui-ci sera délimité à l'aide du critère suivant :

La localisation et la proportion des zones couvertes :

Il est souhaitable d'abord de décrire globalement quelle est la région couverte par le dispositif. Afin de pouvoir établir une relation avec les résultats de l'analyse de risque, cette région sera définie en terme de façades du véhicule. Celles-ci comprennent l'avant, l'arrière et les côtés. L'avant et l'arrière sont délimités par un plan passant par les pare-chocs correspondants alors que les côtés correspondent aux zones latérales comprises entre les deux plans.

Pour compléter l'information concernant la région couverte, il est indispensable de préciser quelle est la portion de cette zone, considérée à risque, qui est couverte par le dispositif. Cette information sera très utile pour départager deux dispositifs couvrant le même champ d'action mais dans des proportions différentes.

3) Temps de protection ou de détection du dispositif

Il est important de connaître également le moment où le dispositif est actif soit : lorsque l'autobus ralentit avant de s'arrêter, lorsqu'il s'arrête ou lorsqu'il se remet en marche. Il serait préférable que le dispositif soit actif à partir du moment où l'autobus ralentit avant de s'arrêter, admettons que c'est au moment où il se remet en marche qu'il est important de détecter la présence d'un enfant.

Après, lorsque l'autobus circule à certaine vitesse, le dispositif doit être inactif, puisque ce n'est pas utile de l'utiliser à ce moment.

Une addition importante sous le critère sécurité est une plus grande précision concernant le temps de protection ou de détection du dispositif de protection. La grille d'évaluation comporte donc des éléments d'évaluation selon le moment d'activation de la protection. Cet élément prend plus d'importance et fait maintenant état de la séquence d'activation des dispositifs au lieu de simplement parler de mouvement ou d'arrêt de l'autobus scolaire.

4) Des questions supplémentaires pour l'information

Certains éléments ont été ajoutés au critère sécurité à titre d'information. Ce sont des facteurs qui pourraient être mesurés mais qui ne peuvent pas être quantifiés dans la grille d'évaluation.

Des éléments tels que la mémoire d'enregistrement d'un dispositif, le temps d'action du dispositif, les émissions de sons et de radiations, l'auto-vérification des composantes et un signal sonore externe sont tous des éléments qui ne sont pas identifiés dans l'arbre de défaillances, ni dans l'analyse des tâches du conducteur, mais qui représentent des caractéristiques techniques de certains dispositifs.

De ce fait, ces critères peuvent faire partie d'une évaluation sans pour autant être comptabilisés dans la grille.

➤ Les critères <<ERGONOMIQUES>> :

Ces critères touchent les éléments suivants :

- La nuisance potentielle du dispositif sur la tâche du conducteur,
- L'impact sensoriel, tactile et visuel du dispositif, la dextérité et connaissances requises, et le niveau d'effort sur la tâche du conducteur,
- La qualité de l'interface dispositif- enfants à minimiser le risque ou les comportements à risque, et
- Des aspects ergonomiques autres que ceux reliés à la tâche du conducteur ou à l'interface dispositif- enfant comme les fausses alarmes et les bruits involontaires et agaçants pouvant être produits par les dispositifs.

Les critères de nature ergonomique ont été principalement identifiés à partir des connaissances acquises lors de l'étude ergonomique faite par GÉNICOM. Ces critères portent sur les relations entre le dispositif et les principaux acteurs de la sécurité en transport scolaire, soit le conducteur et les enfants. Ces relations peuvent être définies par les deux critères généraux suivants :

L'impact sur la tâche du conducteur :

Il est important que le dispositif affecte le moins possible la tâche du conducteur de l'autobus scolaire. Les types de nuisance qu'il vaut mieux éliminer sont celles qui ont

trait à la liberté de mouvement du conducteur, à l'accessibilité aux commandes de l'autobus, au fonctionnement des autres équipements de l'autobus et à la vision du conducteur.

Le dispositif ne devrait pas non plus ajouter à la tâche du conducteur ou du moins pas durant les périodes les plus critiques. Il devient donc important de déterminer la nature (mentale, sensorielle ou physique) et le type d'exigences qui seront imposées au conducteur par l'ajout d'un dispositif.

La qualité de l'interface dispositif / enfants :

Un dispositif bien conçu devrait être bien adapté à la clientèle à laquelle il s'adresse. Il faut donc s'assurer que le dispositif convient aux enfants de petite stature, qu'il n'est pas influencé par la posture que peut adopter un enfant (penché, à genoux, à plat ventre, etc.), qu'il n'est pas influencé par la vitesse de déplacement de l'enfant (mobile ou immobile), qu'il ne peut pas être contourné ou déjoué par l'enfant et qu'il ne complique pas l'utilisation du transport scolaire par l'enfant.

De plus, le dispositif ne doit pas représenter un facteur supplémentaire de risque de blessures pour l'enfant. Il faut donc vérifier si l'enfant court un risque de se couper, de se heurter, de s'égratigner ou encore de s'accrocher sur le dispositif. Il devient également important de s'assurer que ce dernier n'encourage pas les enfants à adopter certains comportements à risque ou encore qu'il ne sera pas la cause d'une perte d'équilibre, d'une chute ou du glissement d'un enfant.

Ainsi on a ajouté sur ces deux critères un troisième qui était très important au point de vue des groupes consultant et technique en même temps :

Autres aspects ergonomiques :

Ce critère renferme des éléments qui empêchent parfois d'exploiter le plein potentiel des dispositifs de sécurité. Par exemple, les effets pervers des fausses alarmes sont parfois mentionnés parmi les problèmes que l'on rencontre chez les dispositifs électroniques de détection et peuvent constituer une grande faiblesse chez certains dispositifs.

C'est pour cela que les ajouts sous ce critère portent donc surtout sur le problème des fausses alarmes de détection et d'autres nuisances (bruit involontaire) pouvant ennuyer le conducteur.

➤ Les critères <<ÉCONOMIQUE ET AUTRES FACTEURS >> :

Ce critère touche trois éléments :

- Le coût relié à l'acquisition, à l'installation et à l'entretien des dispositifs,
- La fiabilité des dispositifs, et
- Le bruit excessif produit par le dispositif à l'extérieur de l'autobus et qui pourrait gêner les gens qui ne sont pas ciblés par son fonctionnement.

L'identification des critères de nature économique a été réalisée sur la base d'études similaires déjà effectuées concernant les dispositifs de sécurité en transport scolaire .

Les critères économiques touchent principalement au cycle de la fiabilité, la garantie, le coût des dispositifs de sécurité et le critère environnemental comme les émissions sonores. Il est à noter que l'arbre de défaillances ne contenait aucun facteur économique.

Donc, sans diminuer l'importance de ce dernier critère, les facteurs retenus sont basés sur des expériences limitées et parfois subjectives. Ainsi, des changements pourraient être apportés ultérieurement à cette catégorie suite à l'expérience acquise lors de l'utilisation des dispositifs.

Les critères économiques retenus sont les suivants :

Le coût total :

Le coût du dispositif inclut le coût d'acquisition, le coût d'installation de même que les coûts d'entretien afférents. Il comprend également les coûts de formation pouvant être requis de même que les honoraires supplémentaires qui seront versés advenant que le dispositif ait un effet sur les horaires de desserte.

Cycle de fiabilité :

La fiabilité correspond à la probabilité de fonctionnement du système sans qu'il y ait bris ou fausses alertes. On doit savoir si on connaît le cycle de fiabilité des composantes du système ou non.

La garantie :

On doit savoir donc la garantie du système si désigné à vie ou pour quelques années et savoir les limites de cette période. Il s'agit de la période de temps au cours de laquelle le dispositif fonctionnera sans réparation majeure.

La mise en place d'un dispositif de sécurité sur les autobus scolaires ne doit pas produire de nuisances sonores. Cette caractéristique est prise en compte par la définition du critère environnemental : les émissions sonores.

Les émissions sonores :

Le dispositif ne devrait pas être bruyant ou produire des sons qui pourraient devenir agaçants pour le conducteur ou les enfants (à l'exception bien sûr du bruit émis par un signal d'avertissement).

CHAPITRE 4

DÉVELOPPEMENT D'UNE GRILLE D'ÉVALUATION DES DISPOSITIFS D'AIDE À LA DÉTECTION D'ENFANTS

4.1 La pondération des critères d'évaluation

4.2 Grille d'évaluation

4.3 Guide des utilisateurs des outils d'évaluation

4.4 Stratégie pour la sélection de dispositifs de détection

**4.5 Vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la
grille d'évaluation finale**

4.1 La pondération des critères d'évaluation.

➤ La méthodologie :

Afin de statuer sur la pertinence ou non d'un dispositif donné, il est nécessaire de donner un poids relatif aux catégories de critères de même qu'à chacun des critères identifiés à la section précédente. Une première pondération a été établie sur la base des analyses précédentes et de l'information colligée en cours de mandat faite par GÉNICOM et modifiée ainsi dans ce projet. Cette pondération a conduit à l'établissement d'un outil d'évaluation des dispositifs de sécurité en transport scolaire, outil qui est présenté comme un fichier EXCEL.

➤ La pondération retenue :

1) La pondération des catégories de critères :

L'objectif de l'évaluation est de permettre l'identification de dispositifs qui élimineront la possibilité d'accidents impliquant un autobus et un enfant, tout en étant ergonomiquement bien conçus et offerts à un coût raisonnable.

En premier lieu, le dispositif devra permettre au conducteur de détecter la présence d'enfants quelque soit l'endroit où ils se trouvent autour du véhicule et réagir de manière à avertir le conducteur de façon claire. C'est pourquoi, la catégorie de critères <Sécurité> compte pour **50 %** de la note globale. Les critères de cette catégorie sont pondérés, quant à eux, sur la base des résultats de l'analyse de risques.

On recommande de conserver cette pondération de 50% pour ce critère, supportant ainsi la thèse du rapport de 1998 qui soutenait que le critère sécurité était le plus important des critères pour la sécurité des enfants.

En deuxième lieu, la sécurité des enfants est basée, tout d'abord, sur le conducteur et ensuite du comportement de l'enfant ; il est important que l'insertion du dispositif n'ajoute pas

à la tâche du conducteur, soit sécuritaire et ne suggère pas à l'enfant de comportements à risque. Cette catégorie de critères, c'est-à-dire les critères ergonomiques, compte pour 25 % de la note globale (d'après Génicom), et il est suggéré d'augmenter la pondération du critère ergonomie de 25 à 40%.

A ce stade de l'évaluation, l'évaluateur pourra fixer une note de passage qui, si non atteinte, permettra d'éliminer d'office le dispositif sans que ce dernier ne soit évalué plus avant c'est-à-dire selon les critères économiques et environnementaux retenus. Ces dernières catégories de critères comptent pour 10 % de la note globale accordée à un dispositif.

Même si l'enjeu économique des dispositifs ne fait pas partie intégrale d'une évaluation pouvant mener un jour à une réglementation sur ce sujet, l'élément économique demeure tout de même un facteur qui ne peut être négligé totalement dans une grille d'évaluation des dispositifs de détection. Tel que mentionné précédemment, le poids de ce facteur a été modifié à 10%.

2) La pondération des critères :

Le tableau 5 (voir page 52) présente la pondération retenue pour chacun des critères d'évaluation présentés auparavant. Cette pondération reflète les résultats des collectes d'information, des analyses effectuées et des observations réalisées par GÉNICOM et modifiées après dans l'évaluation faite dans cette étude.

En général, sauf pour les critères de la catégorie <Sécurité>, l'addition des notes accordées à chacun des critères d'une même catégorie totalise 100 points.

Pour les critères < sécurité >, la note globale obtenue par un dispositif est en fonction :

- a. du pourcentage obtenu par ce dernier concernant le moyen mis de l'avant pour empêcher l'occurrence d'accident :

Ce pourcentage est établi sur la base des résultats de l'analyse de risques et correspond en fait à une approximation du pourcentage d'accidents qui seront évités par un dispositif préconisant un moyen donné pour empêcher un accident. Il convient de mentionner qu'un dispositif ne préconise qu'un seul des différents moyens définis précédemment sous la forme de critères. C'est ainsi qu'un dispositif permettant de détecter un enfant dans les zones dangereuses pourra obtenir jusqu'à 95 %. Alors qu'un dispositif qui vise à aider le conducteur à mieux voir les enfants recevra quant à lui un maximum de 70 %.

- b. du pourcentage du champ d'action du dispositif qui est fonction, quant à lui, des deux critères suivants : localisation des zones couvertes, proportion des zones couvertes :

Ces zones couvrent l'avant, les côtés et l'arrière de l'autobus. La pondération pour chaque zone contenue dans les critères d'évaluation reflète l'analyse des accidents impliquant des enfants heurtés par des autobus scolaires incluse dans le rapport du groupe Cartier. Selon ces analyses, dans la majorité des cas, l'enfant est frappé par l'avant de l'autobus (pondération de 72%) mais l'enfant est souvent tué par la roue arrière de l'autobus. De là l'importance accordée dans la pondération à l'espace situé sur les côtés et sous l'autobus (24%). Les cas d'accidents impliquant l'arrière de l'autobus sont moins fréquents et leur pondération reflète cette fréquence, soit 4%.

- c. du temps de protection ou de détection du dispositif : qui correspond au moment où l'état de protection débute et termine :

On a besoin que le dispositif débute son état de protection ou de détection lorsque l'autobus ralentit avant de s'arrêter et qu'il le termine lorsque l'autobus circule à une certaine vitesse.

=> Le pourcentage obtenu en (a) sera multiplié par le pourcentage du champ d'action en (b) et aussi par le temps de protection du dispositif en (c) pour l'obtention d'une note globale pour cette catégorie de critères.

La pondération accordée aux critères de la catégorie <**ergonomie**> est fonction, quant à elle, des résultats de l'étude ergonomique de la tâche du conducteur, de l'opinion des conducteurs et de l'expérience des analystes en ergonomie. Nous avons ainsi attribué 50 % des points pour l'évaluation de l'impact du dispositif dans l'exécution de la tâche et 40 % des points pour la qualité de l'interface dispositif/enfants et il reste le 10% pour les autres aspects ergonomiques.

Au niveau des critères **économiques**, le coût total du dispositif de même que le cycle de fiabilité des composants du système comptent pour 35 points, tandis que la garantie du système compte pour 20 points. Enfin, la notation des critères **environnementaux** est de 10 points sur 100 pour les nuisances sonores.

Soulignons que la pondération donnée aux critères a été révisée par un comité d'intervenants oeuvrant dans le domaine de la sécurité en transport scolaire.

Le **Tableau 5** résume les critères d'évaluation ainsi que leurs pondérations.

Tableau 5
PONDERATION DES CRITERES D'ÉVALUATION

CATÉGORIES DE CRITÈRES/Critères	Pondération
SÉCURITÉ	50 %
<u>Type d'action(un ou l'autre)</u>	/100
. Prévention de la présence d'un enfant	100
. Détection de la présence d'un enfant	95
. Aide au conducteur pour voir l'enfant	70
<u>Champ d'action</u>	/100
. A l'avant	72
. Sur les côtés	24
. A l'arrière	4
<u>Temps de protection ou de détection du dispositif</u>	/100
. début de protection ou de détection	60
. fin de protection ou de détection	40
ERGONOMIE	40 %
. Impact sur la tâche du conducteur	50
. Qualité de l'interface dispositif/enfants	40
Autres aspects ergonomiques	10
ÉCONOMIE et AUTRES FACTEURS	10 %
. Coût total du dispositif	35
. Cycle de fiabilité	35
. Garantie	20
Autres facteurs	10

4.2 Grille d'évaluation

Une fois les critères devant faire partie de l'évaluation des dispositifs établis et pondérés, il est relativement aisé de les organiser à l'intérieur d'un outil d'évaluation. L'annexe C présente la grille d'évaluation révisée qui intègre l'ensemble des critères identifiés, laquelle pourrait être utilisée pour l'évaluation des dispositifs que l'on considère ici. Soulignons que cette grille a été validée par les intervenants oeuvrant dans le domaine de la sécurité en transport scolaire.

Dans cette grille, chacun des critères est formulé sous forme de questions ayant un choix de réponses multiples, réponses qui sont elles aussi cotées pour permettre l'obtention d'une note globale pour chacun des critères, puis pour chacune des catégories de critères et enfin, pour le dispositif. Les paramètres de mesure adoptés pour chacun de ces critères sont qualitatifs.

La grille d'évaluation a été programmée en utilisant le programme Excel (Annexe C). Cette version informatique permet d'évaluer automatiquement la performance théorique d'un dispositif de sécurité.

Pour utiliser cette grille, il suffit de répondre à chacune des questions de la grille et d'inscrire un X dans la colonne-réponse. Le programme calcule alors automatiquement la cote obtenue par le dispositif faisant l'objet de l'évaluation. Le calcul de la cote s'obtient de manière décroissante à partir d'une note globale de 100.

A titre **d'exemple**, la pondération globale de **Z %** pour un système quelconque est obtenue de la manière suivante :

Sécurité : $100 - (100 - \% \text{ de la critère sécurité calculé dans le fichier Excel}) \times 50 \% = X$

Ergonomie : $X - (100 - \% \text{ de la critère ergonomie calculé}) \times 40 \% = Y$

Économie et Environnement : $Y - (100 - \% \text{ de ces deux critères calculé}) \times 10 \% = Z$.

Cette grille est fournie à titre d'outil d'évaluation et doit être considérée comme la grille d'évaluation définitive.

L'Annexe C résume la relation de la grille d'évaluation par rapport à l'arbre de défaillances.

4.3 Guide des utilisateurs des outils d'évaluation

Les outils d'évaluation inclus dans le présent rapport ont été conçus pour aider les chercheurs, les conseils scolaires, les représentants des gouvernements et les transporteurs scolaires à identifier et mesurer la capacité d'un dispositif de sécurité à réduire ou éliminer les risques qu'un enfant se fasse frapper par l'autobus scolaire. Pour bien comprendre le contenu de la grille d'évaluation et son application, il est important que l'évaluateur ou l'utilisateur ait une connaissance fonctionnelle des éléments qui ont été pris en considération lors de son élaboration.

Il est donc important, avant d'utiliser la grille d'évaluation, de prendre connaissance du contenu de l'arbre de défaillances et de comprendre le rôle de chacun des facteurs et la relation qui les unit dans l'évènement sommet qui est l'accident que l'on désire éviter.

La connaissance des liens qui unissent les facteurs de risque et les tâches du conducteur permettent de mieux comprendre la grille d'évaluation révisée et de mesurer l'importance accordée aux éléments « sécurité » et « ergonomie » en terme de pondération.

Dans la grille d'évaluation chacun des critères est formulé sous forme de questions ayant un choix de réponses multiples. Ces réponses sont par la suite cotées pour permettre l'obtention d'une note globale pour chacun des critères, pour chacune des catégories et enfin, pour l'ensemble des critères pour un dispositif choisi.

La grille d'évaluation est un outil combinant les items de l'arbre de défaillances et d'autres critères qualitatifs qui s'y sont rajoutés tels que décrits auparavant.

Donc si nous revoyons les principes de fonctionnement de cette grille nous y retrouvons les trois critères principaux soit:

1. Sécurité avec 50%;
2. Ergonomie avec 40%; et
3. Économie et autres facteurs avec 10%.

Le total de ces trois critères donne une note globale finale possible de 100% pour tout dispositif évalué.

Chaque critère est par la suite divisé en sous-critères. À titre d'exemple, le critère **sécurité** est composé de trois sous-critères :

1. Impact du dispositif de sécurité avec 100%;
2. Champ d'action avec 100%; et
3. Temps de protection ou de détection du dispositif avec 100%.

La note globale de ce niveau est donc : $(\frac{100*100*100}{100*100})$. Le total de ce critère, sécurité

est par la suite ramené à 50% de l'évaluation totale soit: $\frac{100*50}{100} = 50\%$

Par la suite l'utilisateur remarque que chaque sous-critère est aussi composé de sous-items. Dans le cas toujours du critère sécurité et du sous-critère 1, Impact du dispositif de sécurité, ce dernier regroupe trois items d'évaluation:

- 1.1 Le dispositif empêche l'enfant de passer sous les roues de l'autobus avec 100%
- 1.2 Le dispositif empêche l'enfant de se retrouver dans les zones dangereuses avec 100%
- 1.3 Le dispositif détecte ou aide le conducteur à détecter la présence d'enfants avec 95%

Comme le but ultime est toujours d'éliminer l'évènement menant à l'accident i.e. empêcher l'enfant de passer sous les roues de l'autobus et/ou l'empêcher de se retrouver dans les zones dangereuses, alors si le dispositif vérifie ces deux ou l'un de ces items donc on lui accorde une note 100%.

Par contre, si le dispositif ne répond pas aux items 1.1. et 1.2 et qu'il ne fait qu'aider la détection sans empêcher, alors une note de 95% est alors accordée. Par la suite l'item 1.3 a des sous-items qui définissent plus en détails l'aspect détection. Ces particularités sont pour certains extraits de l'arbre de défaillances (Évènement 11 et 13) ou proviennent d'observations suite aux discussions de validation avec les chauffeurs.

Le cas de l'item 1.3.2 est aussi semblable. Cet item a trois sous-items:

1.3.2.1 le dispositif amplifie l'image d'un enfant dans les zones dangereuses avec une note de 15% (Évènement 52 dans l'arbre de défaillances);

1.3.2.2 le dispositif améliore la vision du conducteur dans les zones dangereuses avec une note de 70% (Évènement 13 dans l'arbre de défaillances); et

1.3.2.3 le dispositif fait la différence entre un enfant et un objet avec une note de 15%.

Le total de l'item 1.3.2 est de 100%. Pour y arriver, il faut faire le total des trois sous-items soit $15+70+15= 100\%$. Ce total est ensuite réparti sur le total établi pour l'item 1.3.2 soit 70%.

L'item 1.3.2.2 a une note totale de 70% et a aussi 4 sous-items:

1.3.2.2.1 Améliore-t-il les contrastes avec 8%(Évènement 59 et 60)

1.3.2.2.2 Améliore-t-il la clarté de la vision avec 7% (Évènement 61 et 62 et 63)

1.3.2.2.3 Permet de concentrer l'attention du conducteur sur la zone où se trouve l'enfant avec 30% (Évènement 53 et 54)

1.3.2.2.4 Aide le conducteur à percevoir les signaux provenant de personnes témoins de la scène avec 40% (Événement 35 et 36)

Le total de ces sous-items se résume donc ainsi: $8+7+30+40 = 85\%$ d'une note possible de 70%. Donc pour la note globale il faut calculer: $8*70/85$ et $7*70/85$ et $30*70/85$ et $40*70/85$.

Il en est de même pour les autres sous-critères.

Pour ce qui est du critère **Ergonomie**, il est composé de 3 sous-critères :

1. Impact sur la tâche du conducteur avec 50%;
2. Interface dispositif-enfants avec 40%; et
3. Autres aspects ergonomiques avec 10%

Le total de critère est donc $50+40+10 = 100\%$ qui doit par la suite être ramené sur une base de 40% du total de l'évaluation car le critère ergonomique représente 40% de la note globale qui est de: $50*40/100$ et $40*40/100$ et $10*40/100$.

Peu des items inclus dans ce critère ont un lien à l'arbre de défaillances et sont parfois plus qualitatifs. Plusieurs des choix pour chaque sous-critères se résument souvent de la sorte:

- Jamais - 100%
- Rarement – 75%
- Régulièrement - 50%
- Très souvent –25%
- Toujours – 0%

Il en est de même pour le critère économique et autres facteurs qui représente 10% de la note totale. Dans ce dernier cas, plus l'impact est élevé, plus la note est faible et vice-versa.

Comme le calcul se fait automatiquement dans la grille, il est donc possible de voir l'évaluation évoluée et donc, mieux comprendre la distribution des pointages.

Donc, pour compléter une évaluation de dispositifs de sécurité, un utilisateur doit simplement apposer un « x » dans les cases appropriées de la grille. L'utilisateur se basera sur l'information fournie par le fabricant ou les opérateurs, ou encore sur son expérience personnelle, ou sur toute autre source d'information pertinente. Chaque question contenue dans la grille est explicite et offre un choix de réponses. Il ne faut faire qu'un seul choix par question. La somme de ces choix résultera en un pointage final qui sera basé sur un total de 100%.

L'une des principales difficultés que peut rencontrer l'utilisateur est l'aspect qualitatif de certaines questions. Tel que mentionné précédemment, plusieurs questions relatives au critère « ergonomie » offrent des réponses subjectives qui laissent une grande latitude à l'utilisateur. Une personne répondra alors au meilleur de sa connaissance mais seul des essais subséquents sur route ou en laboratoire permettront vraiment de confirmer et valider la réponse.

À titre d'exemple, la question numéro 2 qui porte sur les zones dangereuses est très difficile à évaluer sans des essais préalables. Des essais permettraient de confirmer ou d'infirmer le choix fait lors de l'évaluation initiale.

Lorsque la grille d'évaluation est remplie, l'utilisateur peut alors utiliser le tableau général des critères du tableau 5 et insérer les résultats obtenus avec la grille d'évaluation. Ce tableau contient la pondération et les principaux éléments de chacun des critères.

L'utilisateur peut alors décider de soumettre les dispositifs ayant obtenues les plus hauts pointages à des essais en laboratoires, en circuit fermé ou sur route.

4.4 Stratégie pour la sélection de dispositifs de détection

Dans le cadre d'un comité national visant l'identification et la revue de dispositifs de sécurité, on suggère que l'approche choisie pour la sélection de dispositifs devant mener au choix de ceux pouvant être mis à l'essai comporte les éléments suivants:

- Expression d'intérêt de la part des manufacturiers ou distributeurs de dispositifs de détection,
- Établissement d'un Comité de sélection,
- Remise aux manufacturiers et distributeurs d'une copie électronique (format Excel) de la grille d'évaluation en leur demandant de la remplir et de la faire parvenir au Comité de sélection (voir Annexe D),
- Évaluation par le Comité de sélection des dispositifs en utilisant la grille d'évaluation,
- Invitation aux manufacturiers ou distributeurs à venir présenter les mérites de leurs dispositifs devant le Comité d'évaluation. (Cette présentation permettra aux deux parties de discuter de la capacité des dispositifs à rencontrer les exigences de la grille d'évaluation.),
- Ré-évaluation des dispositifs suite aux présentations des manufacturiers / distributeurs,
- Sélection de deux ou trois dispositifs pouvant être soumis à des essais en laboratoire, en circuit fermé et sur route, et
- Vérification du besoin de permis spéciaux ou d'autorisations spéciales pour les essais routiers selon la Province ou le Territoire où les essais se dérouleront.

4.5 Vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation finale

La fonctionnalité de la grille d'évaluation révisée a été vérifiée en utilisant le bras d'éloignement. Ce dispositif mécanique est utilisé sur plusieurs autobus scolaires.

Les résultats de cette vérification se retrouvent à l'annexe E.

La grille d'évaluation a donné les résultats escomptés lors de cette vérification.

Un résultat cumulatif complet a été obtenu et il était possible à tout moment de modifier ou corriger ses choix.

De plus, la grille d'évaluation ne permettait pas l'entrée de réponses multiples à une même question.

Du point de vue fonctionnel, la grille d'évaluation a fourni des résultats escomptés pour chacun des trois principaux critères : « sécurité », « ergonomie » et « économie ».

CHAPITRE 5

EXEMPLES D'APPLICATION DE LA GRILLE D'ÉVALUATION

5.1 Introduction

5.2 FOREWARN™: Object Detection System (Micro-Ondes)

5.3 ADMS : (Caméra + Infrarouges)

5.4 BBI Safety System: (jupes)

5.5 Barrières articulées : (Bras d'éloignement)

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, on reverra la recherche bibliographique déjà faite dans le rapport (systèmes de sécurité pour autobus scolaires, 1996) qui a permis de retracer plusieurs systèmes de détection de présence d'obstacles utilisés pour améliorer le pilotage des automobiles, des autobus scolaires, des camions, des convois militaires ainsi que des avions. On évaluera, avec une grille finale, les systèmes développés spécifiquement pour le transport scolaire, et comparera cette évaluation avec les résultats trouvés auparavant.

5.2 FOREWARN™: Object Detection System (Micro-Ondes)

a) Introduction :

Delco Electronics a mis sur le marché un système de sécurité pour autobus scolaire à base de micro-ondes. Le système utilise un affichage lumineux pour indiquer la présence d'obstacles (mobiles) dans son champ.

Le système qui a été expérimenté au sein du laboratoire de l'UQTR est composé d'un module d'affichage et de deux détecteurs de mouvement, soit un pour le devant du véhicule et un autre pour le côté droit. Le premier a pour but de détecter tout mouvement devant le dit véhicule et le second doit couvrir le devant de la roue arrière droite. Le schéma de la figure 3 illustre les zones couvertes par ces capteurs selon les spécifications du fabricant.

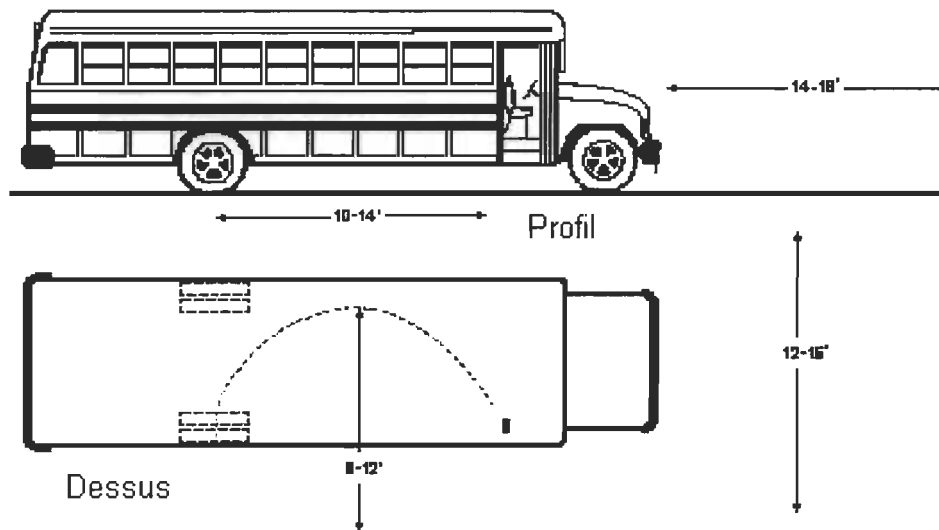


Figure 3 . Zones couvertes par le système FORWARN™

Le module d'affichage est doté de voyants lumineux pour indiquer au conducteur que les différents capteurs placés en avant du véhicule et sur le(s) côté(s) sont actifs.

D'autres voyants lumineux clignotent et un avertisseur sonore se fait entendre lorsqu'un ou des capteur(s) sont en état(s) d'alarme. Ce système devient actif avec l'ouverture des portes de débarquement et se désactive dès que l'autobus se met en mouvement et ce à l'aide d'un capteur magnétique situé sur l'arbre de transmission. Ces capteurs micro-ondes fonctionnent à effet doppler c'est-à-dire qu'une alarme se déclenche lorsqu'ils détectent un changement de fréquence.

L'inconvénient d'un tel système c'est qu'il ne détecte pas les faibles vitesses et qu'il est très sensible aux vibrations de l'autobus. Il peut déclencher des fausses alarmes ce qui risque de déranger le conducteur. Aucune spécification sur le traitement du signal utilisé au niveau du système n'est spécifiée.

b) FOREWARN™ (Expérimentation et évaluation du système) :

➤ **Portées des capteurs :**

Dans la procédure d'expérimentation des systèmes et des détecteurs faite à l'UQTR, on a commencé par vérifier les caractéristiques des capteurs. La figure 4 donne la portée des différents capteurs. Ces mesures sont prises à l'extérieur (journée ensoleillée, taux d'humidité faible).

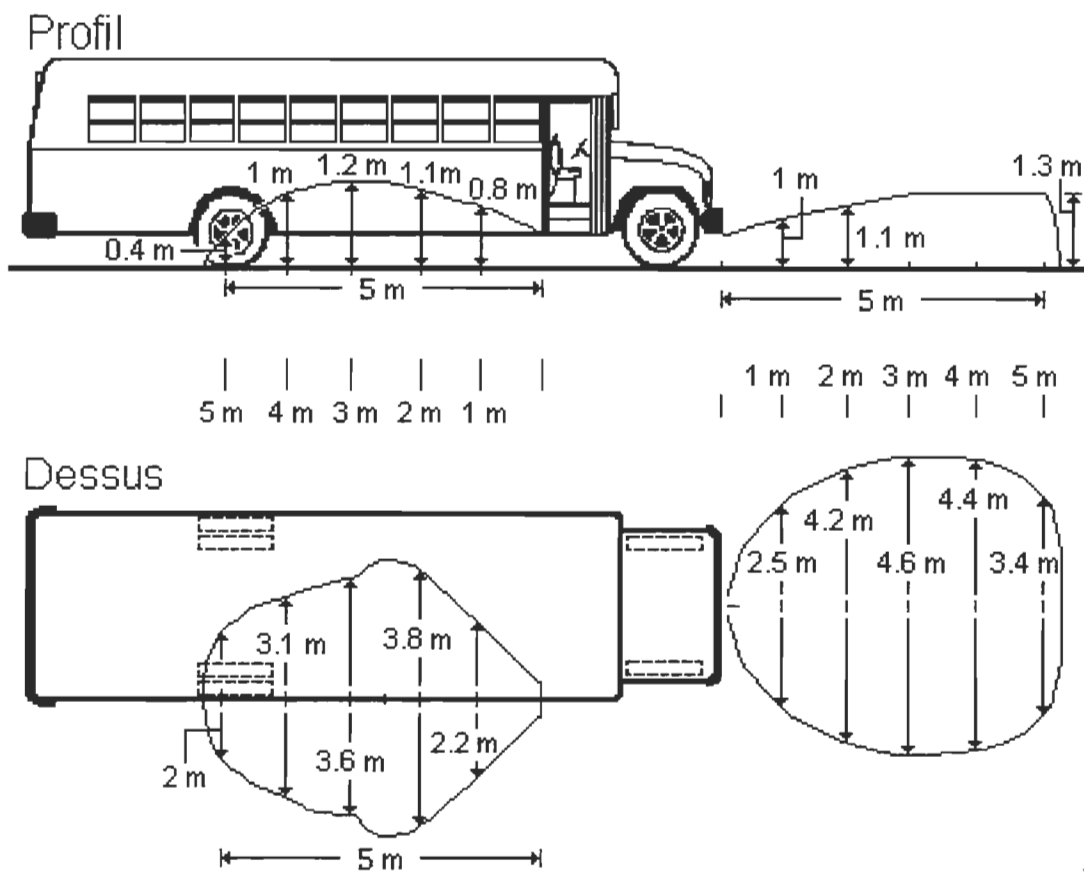


Figure 4 . Schéma de la portée des capteurs micro-onde

➤ **Analyse des résultats :**

Bien que ces capteurs aient une bonne portée, il n'en reste pas moins que certaines zones importantes ne sont pas couvertes. En comparant le schéma de la portée du capteur avant avec le schéma ci-dessous représentant les zones dangereuses, on peut remarquer que la région immédiate située en avant des roues avant n'est pas couverte. Il est très important de préciser que les deux tiers des accidents se produisent à l'intérieur de cette région. Il est donc primordial qu'un système de sécurité couvre bien ces zones.

La portée de ce système peut être plus ou moins altérée à la suite d'une accumulation de neige, de verglas, de boue ou de toutes autres substances pouvant se trouver sur le capteur. De plus ces capteurs ont une réponse plus fiable à un déplacement parallèle qu'à un déplacement perpendiculaire. Noter que la majorité des déplacements se font perpendiculairement à l'autobus scolaire.

Ces capteurs ont comme inconvénient de détecter seulement un mouvement et non pas une présence. Ce qui revient à dire que si un enfant tombe et qu'il reste immobile au sol pour quelque raison que ce soit, le système n'émettra pas d'alarme.

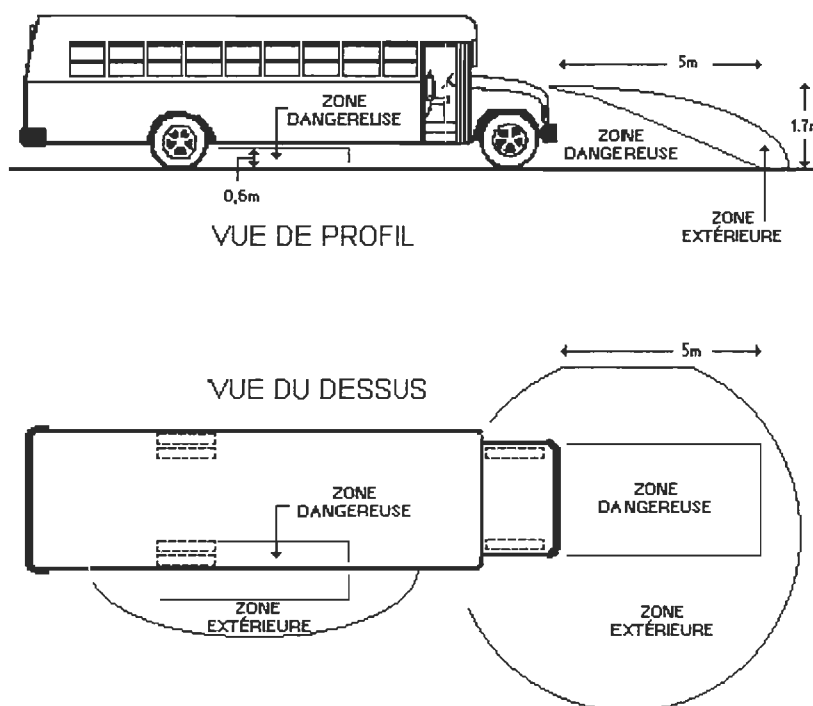


Figure 5 . Schéma indiquant les zones dangereuses autour des autobus scolaires

Un autre scénario possible est celui de deux enfants qui après être descendus de l'autobus scolaire passent à l'intérieur d'une zone dangereuse prenons ici le devant de l'autobus, un des deux enfants décide de s'arrêter soit pour ramasser un objet tombé sur le sol ou pour attacher ses souliers. Si l'enfant le fait d'un mouvement lent, le système peut ne pas le détecter.

Ce système réagit aussi à tout objet en métal se situant à l'intérieur de son champ de portée. En effet, ce dernier se trouve déformé de façon plus ou moins importante dépendamment de la grosseur et de la distance le séparant de l'objet en question. La figure 6 illustre un exemple de déformation possible.

Il est important ici de noter que ce système de sécurité ne fonctionne que si l'autobus est à l'arrêt. Or, un autobus à l'arrêt ne peut pas causer d'accidents. Un système de sécurité doit être fonctionnel le temps que l'autobus prendra pour parcourir les cinq mètres devant celle-ci, soit la zone dangereuse. Il est préférable aussi qu'un système de sécurité détecte une présence et non seulement un mouvement.

➤ **Conclusion :**

Pour cette dernière raison et les autres énumérées précédemment ce système est jugé non recommandable pour assurer la sécurité autour des autobus scolaires.

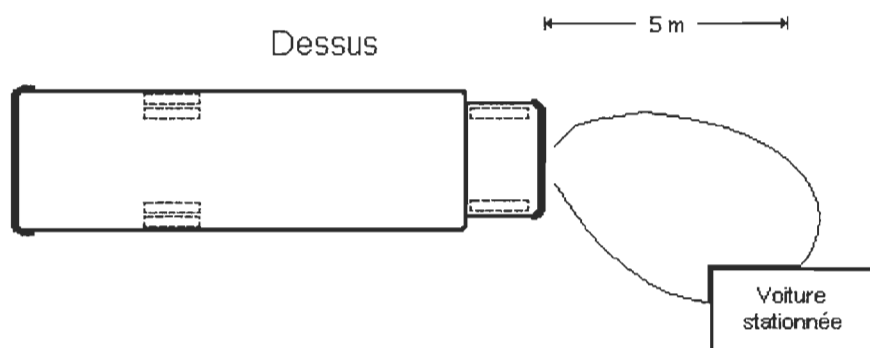


Figure 6 . Déformation possible de la portée des capteurs

c) **Évaluation par la grille :**

L'évaluation de système **Micro-ondes** par la grille finale donne un pointage de 54.2%.

En fait, ce système n'empêche pas la présence d'enfants dans les zones dangereuses ni détecte ceux-ci immobiles.

C'est pour cela que la partie sécurité comptant 50% de l'évaluation, ne correspond pas aux caractéristiques de ce dispositif; ce qui explique le bas pointage calculé par la grille. Cette évaluation se conforme à la conclusion prescrite auparavant.

5.3 ADMS (Caméra+Infrarouges)

a) **Introduction :**

Le système de détection A.D.M.S. breveté par M. André Giroux est constitué d'une caméra, d'un écran vidéo, de deux capteurs infrarouges et de l'électronique nécessaire pour contrôler l'ensemble. L'appareil est à l'état de repos tant que le conducteur n'a pas mis le contact. Dès que le contact du véhicule est activé, le système (écran et caméras) est alimenté. Cependant, aucune image n'est présente sur l'écran tant que le conducteur n'ouvre pas la porte de débarquement. Lorsque cette dernière s'ouvre, l'écran présente presque instantanément l'image du devant du véhicule. Si un objet se trouve dans le champ du capteur infrarouge, un voyant s'illumine. Lorsque la porte de débarquement se referme, le capteur reste encore actif pendant environ cinq secondes.

Dans cet état, si un objet se trouve dans le champ du capteur infrarouge, le voyant s'illumine encore et un signal sonore se fait entendre pour alerter le conducteur d'un danger potentiel. Après les cinq secondes le système, c'est-à-dire la caméra et les avertisseurs sont coupés. Lorsque l'autobus commence à se déplacer, un capteur magnétique redéclenche l'activation du système (image active, capteur et signal sonore actifs) pendant environ cinq secondes encore, après quoi le système reprend son état de repos jusqu'à la prochaine ouverture de la porte.

• Description physique des appareils

Caméras :

Une première caméra est située à l'avant au milieu du véhicule et est dirigée de façon à voir les obstacles devant l'autobus.

La deuxième caméra (optionnelle) est située au-dessus de la porte de débarquement et est dirigée de façon à voir les éventuels obstacles situés sur le côté droit de l'autobus.

Selon le fabricant, ces caméras peuvent opérer à une température située entre -30 °C et +55 °C. Ces dernières supportent un taux d'humidité relative de 0 à 90% (sans condensation). La distance focale des lentilles est de 16 mm, ce qui permet un plus grand champ de vision (soit un angle de couverture d'environ 110°)

Moniteur vidéo :

Ce moniteur est situé près du conducteur soit, selon le concepteur, fixé sur le tableau de bord du véhicule (soit à côté de la poignée activant la porte de débarquement). Il est orienté de façon à gêner le moins possible la visibilité du conducteur tout en étant facile à consulter.

Selon le fabricant, ce moniteur peut travailler à une altitude de 300 mètres et à un taux d'humidité relative de 10 à 80% (sans condensation).

Capteurs infrarouges :

Un premier capteur est situé sur l'aile avant gauche (par rapport au conducteur) et est dirigé de façon à voir les obstacles devant l'autobus.

Un deuxième capteur est monté en avant, à droite du véhicule au dessus du pare-choc. Il est pointé vers l'avant du véhicule.

Selon le fabricant, ces capteurs peuvent capter la présence d'un obstacle de 1 m² à 3 mètres de distance si ce dernier est d'un blanc mat. Leur temps de réponse est inférieur à 5 millisecondes, soit bien assez rapide pour ne pas en tenir compte.

b) ADMS (Expérimentation et évaluation du système) :

➤ **Expérimentation du système :**

Le système ADMS a été installé et testé sur un autobus scolaire pendant deux mois à l'hiver 1996. Durant cette période le système a fonctionné correctement malgré des froids sévères et des conditions de neige abondante. Les conducteurs de l'autobus ont été satisfaits du fonctionnement du système.

➤ **Analyse des résultats et discussion :**

En regardant le schéma de la figure 7 on peut remarquer que le champ couvert par le premier capteur infrarouge est plutôt restreint. Il ne permet pas de voir ce qui se passe sous le pare-chocs ni un objet situé un peu plus bas que son champ de visée. De plus le devant de la roue avant gauche n'est pas couvert par le capteur.

Le deuxième capteur infrarouge détecte les objets devant la roue avant droite. Cependant comme le capteur est assez élevé (au dessus du pare-choc) il ne détecte pas les objets au niveau du sol.

La caméra placée à l'avant au milieu du véhicule couvre la zone dangereuse à l'avant du véhicule tel que montré sur la figure 8.

Le moniteur est bien placé juste à côté de la poignée de fermeture de la porte. Le champ de vision du conducteur est naturellement orienté vers le moniteur. Le conducteur peut donc clairement voir un écolier penché en avant du pare-choc.

➤ **Conclusion :**

La caméra et le moniteur du système analysé forment un élément de détection efficace pour déceler un objet à l'avant du véhicule. La zone dangereuse est complètement couverte par le moniteur. Les capteurs infrarouges sont utilisés pour détecter le passage ou l'entrée des écoliers dans la zone dangereuse mais ne couvrent pas entièrement la zone dangereuse. Ceux-ci couvrent pour le premier capteur jusqu'à 3 mètres en avant à droite et aussi jusqu'à 3 mètres en diagonale (45 degrés) pour le capteur à gauche du véhicule. Ces capteurs envoient une alarme visuelle lorsqu'un écolier pénètre dans la zone dangereuse avec la porte ouverte et envoient une alarme sonore et visuelle lorsqu'un écolier pénètre dans la zone dangereuse avec la porte fermée.

Le système ADMS possède plusieurs avantages par rapport à d'autres systèmes de détection. L'ensemble caméra écran donne une meilleure image que celle offerte par les miroirs à forte convexité. La caméra dotée d'un grand angle a comme effet de grossir les objets devant cette dernière. De plus la neige et la pluie n'influencent que très peu la qualité de l'image dû à l'angle prononcé de la caméra vers le bas. La caméra possède aussi comme autre avantage par rapport au miroir à forte convexité de présenter une image complète de l'avant du véhicule à proximité du conducteur près de la poignée de la porte.

Le système ADMS présente aussi un avantage par rapport au système FOREWARN. Le système FOREWARN est arrêté aussitôt que l'autobus scolaire débute son mouvement vers l'avant. Ceci empêchera le conducteur de recevoir une alarme si un écolier décide de traverser à l'avant du véhicule après que celui-ci ait amorcé son mouvement. Le système ADMS quant à lui est coupé 5 secondes après le début du mouvement de l'autobus ce qui permet au conducteur de voir un écolier s'approcher de l'avant de l'autobus. L'écran est coupé après 5 secondes parce qu'il existe un règlement qui stipule qu'un écran vidéo ne peut être allumé près du conducteur d'un véhicule en mouvement.

c) Évaluation par la grille :

L'évaluation de système **ADMS** par la grille finale donne un pointage de 70.1%.

Même si ce système n'empêche pas la présence d'enfants dans les zones dangereuses, il détecte sa présence mobile ou immobile. De plus, la présence de la caméra limite le nombre de points de vues nécessaires pour les vérifications d'usage.

C'est pour cela que la partie sécurité comptant 50% de l'évaluation correspond, à un certain niveau, aux caractéristiques de ce système, ce qui explique le pointage calculé par la grille qui peut être accepté après quelques modifications.

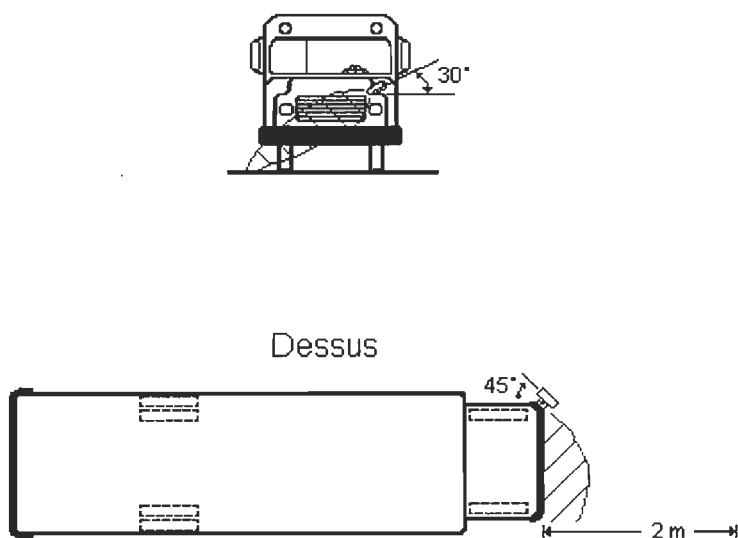


Figure 7 . Portée du premier capteur infrarouge du système ADMS

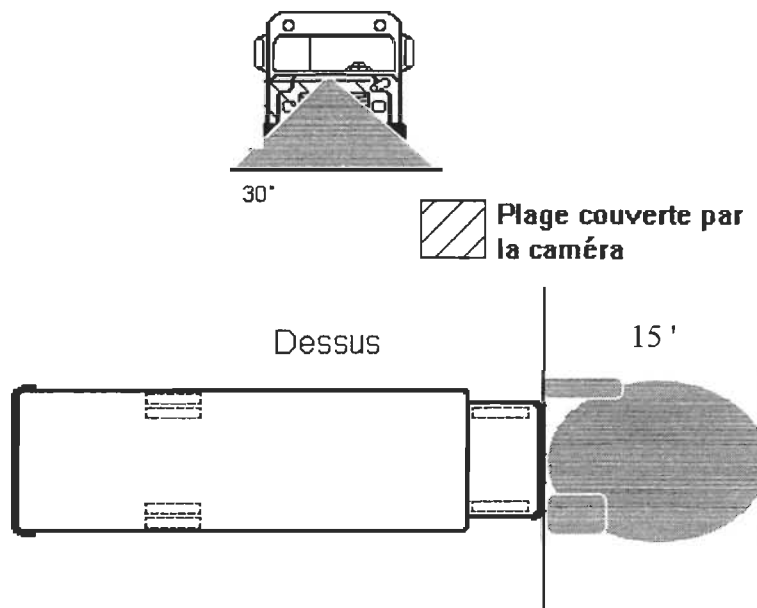


Figure 8 . La vision obtenue par la caméra du système ADMS

5.4 BBI Safety System (jupes)

a) Introduction:

➤ Description du système :

L'objectif principal du système BBI est de neutraliser la cause ou la source des accidents associés aux transporteurs scolaires. Les jupes de protection du système BBI ont comme rôle d'empêcher les enfants de passer sous les roues avant et sous la roue arrière droite du transporteur scolaire. Le système est composé de deux jupes rétractables. Une première jupe couvre ou cache tout l'avant du véhicule et une autre cache la roue arrière droite. Ces jupes sont faites en fibre de verre et sont désignées de façon à éloigner efficacement l'enfant de l'avant du véhicule et surtout des roues du transporteur. Ces jupes sont montées sur une structure élastique qui se déforme lorsqu'elles heurtent un objet. Cette propriété permet avec des capteurs de proximité de détecter la présence d'objets en contact avec la jupe. Ces capteurs sont reliés à un écran

d'affichage qui actionne une alarme sonore et visuelle lorsqu'un objet est en contact avec les jupes et indique la position de cet objet.

Les jupes sont activées par un mécanisme hydraulique et le système de contrôle des jupes est électronique. Les jupes sont normalement en position remontée pour circuler sur la route. Elles sont abaissées automatiquement lorsque le conducteur ouvre la porte pour débarquer les enfants. Les jupes sont aussi remontées automatiquement lorsque le transporteur atteint une vitesse approximative de 5 km/heure ce qui permet au transporteur de traverser la zone dangereuse avec les jupes abaissées. Donc le conducteur n'a pas à effectuer des manoeuvres supplémentaires susceptibles de le distraire.

➤ **Méthodologie des essais :**

Les essais visaient à vérifier de façon non exhaustive le potentiel de sécurité que peut offrir le système BBI tant au niveau de la détection qu'au niveau de son efficacité à parer l'occurrence d'accidents lors des manoeuvres d'embarquement et de débarquement. Pour réaliser ces vérifications des tests ont été effectués au Centre d'essais pour véhicules automobiles de transport Canada à Blainville. Pour réaliser ces essais on a utilisé un mannequin loué au Centre d'essais afin de pouvoir constater les impacts sur celui-ci en fonction des différentes situations auxquelles nous l'avons soumis.

Les essais au nombre de vingt consistaient à placer le mannequin en différentes positions jugées critiques en regard de son intégrité physique; on a ensuite fait démarrer l'autobus pour observer à la fois le comportement du système, le temps de réaction du conducteur et les impacts sur le mannequin. Ces essais ont été enregistrés sur bande vidéo.

➤ **Résultats des essais :**

Nous avons d'abord vérifié le mécanisme de descente et de remontée des jupes. Lors de chacun des essais, nous avons pu constater que le système s'est enclenché automatiquement lorsque le conducteur ouvrait la porte et que le système se remontait à une vitesse de référence.

Nous avons ensuite vérifié la capacité du système à empêcher les blessures majeures lors d'une collision avec un mannequin. Pour effectuer ces essais nous avons utilisé un mannequin de la taille et de poids d'un enfant de six ans. Le mannequin a été placé sur le sol en avant des jupes de protection dans différentes positions. Pour simuler un accident le transporteur est mis en route et le conducteur s'arrête au signal sonore émis par le système lorsque celui-ci frappe et détecte le mannequin sur la route. Lors des essais qu'on a effectués on a pu constater que la jupe a permis d'éviter que le mannequin passe en dessous du transporteur ou sous les roues de ce dernier. En aucun temps la tête ou le thorax du mannequin ne sont passés sous les roues du transporteur.

Trois essais nous ont permis de constater qu'un bras du mannequin pouvait se glisser sous la jupe avant et que dépendant du temps de réaction du conducteur, ce bras se retrouvait soit en position d'être écrasé ou était écrasé par la roue.

Un essai nous a permis de constater qu'un bras du mannequin s'est retrouvé sous la roue arrière en contournant la jupe après avoir été frappé par cette dernière.

➤ **Discussion :**

• Jupes de protection

Les jupes de protection lors des essais effectués ont permis d'éviter des accidents fatals lors des collisions avec le mannequin. Le conducteur a toujours pu arrêter le véhicule avant qu'une blessure fatale se produise grâce au système d'alarme. Il y a cependant eu quatre cas où le bras du mannequin est passé sous une roue du transporteur. Ces accidents se sont produits lorsque le mannequin était placé pour que le choc se produise aux extrémités des jupes, nous n'avons noté aucun problème lorsque le mannequin était aux environs du centre des jupes.

Les cas d'écrasement du bras pourraient être assez facilement évités en modifiant la forme des extrémités des jupes de protection. Les jupes gagneraient en efficacité si l'on modifiait leurs formes en les allongeant vers l'extérieur. Une telle modification réduirait l'incidence qu'un bras ne se retrouve sous les roues en contournant les jupes.

La jupe gagnerait aussi en efficacité si l'on modifiait la distance qui la sépare du sol lorsque le système est activé. Cette distance devrait être diminuée mais en s'assurant qu'elle ne touche pas le sol en présence d'obstacle. Un tel ajustement réduirait l'incidence qu'un bras ne se glisse sous la jupe de protection.

• **Système de détection**

Le système de détection de choc s'est avéré efficace dans chacun des essais réalisés. Le système a toujours détecté correctement la présence du mannequin lorsqu'il y avait collision.

➤ **Conclusion :**

L'avantage majeur des jupes de protection relativement aux autres systèmes de garde ou détection est d'empêcher les enfants de passer sous le transporteur ou sous ses roues. Ce système fait plus qu'avertir le conducteur s'il y a un danger, il empêche l'occurrence d'événements fatals. C'est pourquoi on pense qu'avec les quelques modifications suggérées ce système est le plus sécuritaire parmi les systèmes qu'on a évalués.

b) Évaluation par la grille :

L'évaluation du système **Jupes** par la grille finale donne un pointage de 93.2%.

Ce système empêche l'enfant de passer sous les roues de l'autobus, et couvre la totalité des zones dangereuses en avant et sur les côtés.

Ce système répond à la demande essentielle de la partie sécurité concernant la présence des enfants sous les roues, ce qui explique le haut pointage calculé par la grille.

Ce système doit être accepté, voire admis comme proposé par l'étude auparavant après quelques modifications, puisqu'il détient le meilleur pointage dans les quatre exemples d'applications effectués dans cette étude.

5.5 Barrières articulées (Bras d'éloignement)

a) Introduction

◆ Description du système

Ce système est composé de deux modules. Le premier est une barrière forçant l'enfant à passer plus loin devant l'autobus (environ 2m) et le second est constitué d'une barrière rallongeant le panneau "ARRÊT" situé sur le côté du véhicule. Les paragraphes suivants donnent la description de ces deux modules.

La barrière avant est constituée de deux bras actionnés par un moteur à courant continu produisant un déplacement linéaire. Ce dernier est placé au milieu du pare-chocs. Deux interrupteurs de fin de course contrôlent l'arrêt du moteur lorsque les bras ont atteint leur position finale (barrière fermée ou ouverte selon la séquence). Ces barrières sont fabriquées de tuyau de 2,54 cm de diamètre extérieur. Elles sont longues d'environ deux (2) mètres. Une bande faite de plastique située aux extrémités de ces bras empêche l'accès par l'avant à la zone intérieure (voir Figure 9).

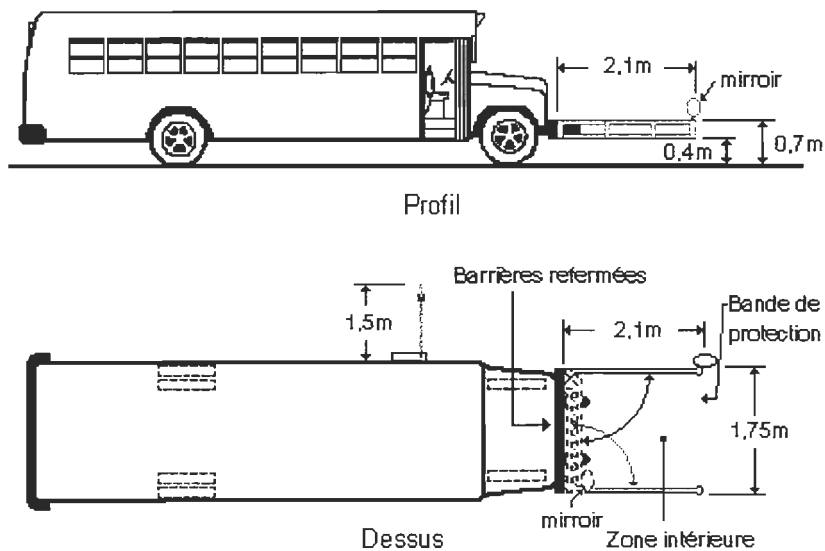


Figure 9 . Zones couvertes par les barrières ouvertes

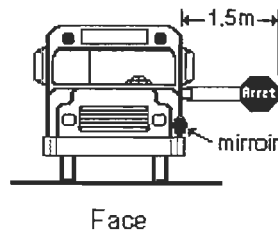


Figure 10 . Schéma des barrières ouvertes en vue de face

Un miroir à faible convexité sert à voir ce qui se trouve dans la zone intérieure et juste devant la bande jaune. L'activation de ces barrières se fait avec l'ouverture des portes de débarquement et elles se referment avec la fermeture de ces mêmes portes. Le schéma de la figure 10 montre la plage que couvre tout le système :

La barrière de côté est faite d'un tuyau d'aluminium de deux (2) cm de diamètre. Un panneau "ARRÊT" y est installé à son extrémité. Sur ce panneau, deux lumières clignotantes aident à prévenir les véhicules circulant dans le même sens (ou en sens inverse) que l'autobus est en arrêt et prête à débarquer des écoliers. Elle s'active de la même façon que l'autre barrière, soit avec l'ouverture de la porte de débarquement.

- **Discussion :**

Ce système ne couvre que la moitié de la zone dangereuse (voir le schéma ci-dessus). Le miroir n'effectue pas une tâche respectable. Son champ de vision est beaucoup trop restreint. Le temps que la barrière prend pour se positionner est beaucoup trop long (10 sec. environ) considérant qu'un enfant ne met que très peu de temps à débarquer de l'autobus et traverser la route. Certains points du système ont été améliorés depuis sa première version. Une enveloppe de protection a été ajoutée autour du support de la barrière pour empêcher l'accès des écoliers aux pièces mobiles. Un mécanisme de limitation du torque du moteur a aussi été ajouté au système pour empêcher que les enfants ne se blessent lors du déploiement de la barrière.

- **Conclusion :**

Plusieurs des points faibles du système ont été corrigés et son utilisation est jugée sécuritaire. Le point fort de cette barrière est qu'elle force les écoliers à passer à huit pieds de l'avant de l'autobus scolaire et permet au conducteur de mieux voir les écoliers. Cependant une partie de la zone dangereuse est encore non couverte par la barrière, soit de 2,5 à 5 mètres.(voir Figure 5)

Note : Il est évident que certaines de ces lacunes pourraient être rapidement corrigées.

Cependant, l'évaluation du système a été faite sur le matériel tel que reçu.

Il faut cependant noter que les concepteurs se sont montrés très intéressés à apporter les modifications nécessaires pour fournir un système adéquat. Le système n'est pas à négliger puisqu'il présente l'avantage de repousser le danger plus loin, donnant ainsi au conducteur un plus grand temps de réaction. Donc, avec quelques ajustements, le système pourrait être tout à fait acceptable. Ainsi, la **barrière de côté munie du panneau "ARRÊT"** présente une excellente alternative au petit panneau actuellement installé sur la plupart des véhicules scolaires. Cette dernière constituerait une sécurité accrue lors de l'arrêt de l'autobus. Nous en faisons donc **fortement la recommandation.**

Finalement, il faut noter que ce système a été mis en marche à Ottawa mais après quelques modifications : on a juste une barrière, celle du côté droit. Les voitures doivent s'arrêter dans les deux sens lorsque le panneau "ARRÊT" apparaît et les deux lumières clignotent lors de l'ouverture de la porte de débarquement.

b) Évaluation par la grille :

L'évaluation du **Bras d'éloignement** par la grille finale donne un pointage de 77.4%.

Même si ce système empêche l'enfant de se retrouver dans les zones dangereuses, celui-ci ne couvre que l'avant des zones dangereuses. Ce système répond à la demande essentielle de la partie sécurité concernant la présence des enfants sous les roues et doit être accepté après quelques modifications avec ce pointage satisfaisant.

CONCLUSION

L'objectif du présent projet était de réviser et de valider des critères d'évaluation établis lors d'un précédent projet et de développer des procédures d'essais qui seront utilisées dans une phase subséquente lorsqu'un comité aviseur-technique aura sélectionné certains dispositifs.

Le projet précédent a utilisé trois sources d'information pour comprendre les risques encourus par un enfant autour de l'autobus scolaire et les causes de ces accidents: les statistiques d'accidents, l'observation sur le terrain et la consultation auprès d'un groupe de discussion formé de conducteurs d'autobus scolaires. Ceci a résulté au développement d'un arbre de défaillances qui est présenté à l'annexe (Annexe B). Le présent rapport ne suggère que quelques ajouts mineurs à cet arbre de défaillances.

Le premier projet contenait aussi une grille d'évaluation pondérée. Quelques modifications ont été effectuées à cette grille originale:

- *Critères d'évaluation et pondération :*

Les cinq critères d'évaluation originaux ont été regroupés en trois catégories, soit: « sécurité », « ergonomie » et « économie ». Le changement le plus significatif est probablement le poids plus important donné au critère ergonomie qui a été majoré de 25% à 40%. Cette majoration est justifiée par l'importance des facteurs ergonomiques dans l'utilisation des dispositifs de détection des piétons et de l'impact de l'accroissement possible des tâches du conducteur et de la nuisance potentielle des fausses alarmes.

- *Grille d'évaluation :*

La grille d'évaluation a subi plusieurs modifications. Le critère sécurité a été révisé pour y inclure plusieurs facteurs techniques importants reliés à la détection des piétons dans les zones dangereuses autour du véhicule et pour tenir compte du moment d'activation des dispositifs. Le contenu du critère ergonomique a peu changé mais le problème important des fausses alarmes produites parfois par les dispositifs a été valorisé. Le critère économique contient maintenant des éléments et des pondérations qui reflètent mieux la réalité actuelle des opérateurs et manufacturiers.

Une vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation révisée a été effectuée en utilisant l'un des dispositifs de détection mécanique disponible sur le marché. Cette vérification a permis de s'assurer que la grille est fonctionnelle et donne les résultats escomptés. L'annexe D contient les résultats de cette vérification.

Le présent projet contient un guide de l'utilisateur qui permet de comprendre les éléments de la grille d'évaluation et qui facilite son utilisation. Finalement, il est proposé, pour une phase subséquente, d'utiliser une stratégie qui serait axée sur une évaluation théorique des dispositifs par l'utilisation de la grille d'évaluation et sur des mises à l'essai en laboratoire, en circuit fermé et sur route.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ampofo-Boateng, K; Thomson, J A (1991). Children's perception of safety and danger on the road.
- [2] Anna Wilde Mathews (1999). NTSB Will Urge Stricter Standards For Bus Safety.
- [3] Bergeron, J., Tardif, L-P. & Paquette, M. (2001). Systèmes de détection et d'évitement des collisions pour les véhicules lourds. Rapport préparé pour le Ministère des Transports du Québec.
- [4] Burke, G S; Lapidus, G D; Zavoski, R W; Wallace, L; Banco, L I (1996). Evaluation of the effectiveness of a pavement stencil in promoting safe behavior among elementary school children boarding school buses.
- [5] Cass, D T; Ross, F; Lam, L (1996). School bus related deaths and injuries in New South Wales.
- [6] Comeau, Lee (1990). Instructing Students on Safety Procedures Can Prevent Accidents.
- [7] Drago D.A.; Winston F.K.; Baker S.P.(1997). Clothing drawstring entrapment in playground slides and school buses: Contributing factors and potential interventions.
- [8] Dubé, Y & Kaffel, M, (1996). Systèmes de sécurité pour autobus scolaire. Ministère des transports du Québec.
- [9] Flax, Ellen (1989). Panel Says School-Bus Seat Belts Not Cost-Effective.
- [10] Groupe Cartier & les consultants Génicom (1998). Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires. Transports Canada, Centre de développement des transports, TP 13221F.
- [11] Miller T.R.; Spicer R.S (1998). How safe are our schools?
- [12] R. Unger, C. Eder, J. M. Mayr and J. Wernig (July 2002). Child pedestrian injuries at tram and bus stops.
- [13] Stevenson, M; Iredell, H; Howat, P; Cross, D; Hall, M (1999). Measuring community/environmental interventions: the Child Pedestrian Injury Prevention Project.

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Comité Aviseur-Technique – Représentants

Annexe B : Arbre de défaillances

Annexe C : Relation de la grille d'évaluation par rapport à l'arbre de défaillance

Annexe D : Version électronique de la grille d'évaluation (voir Fichier Excel)

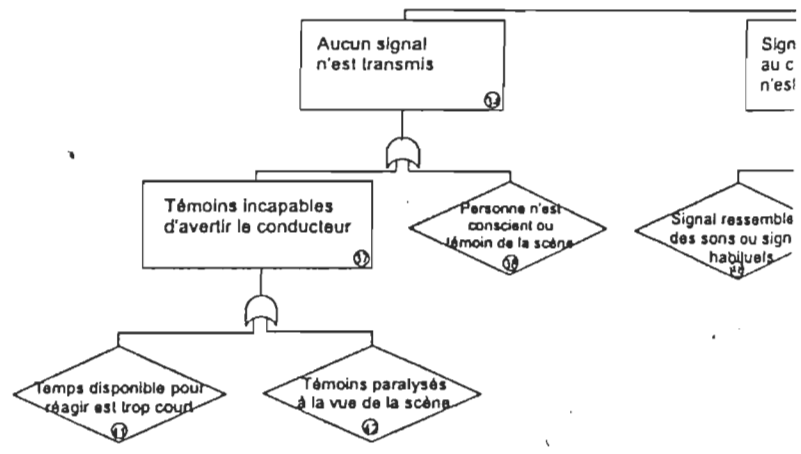
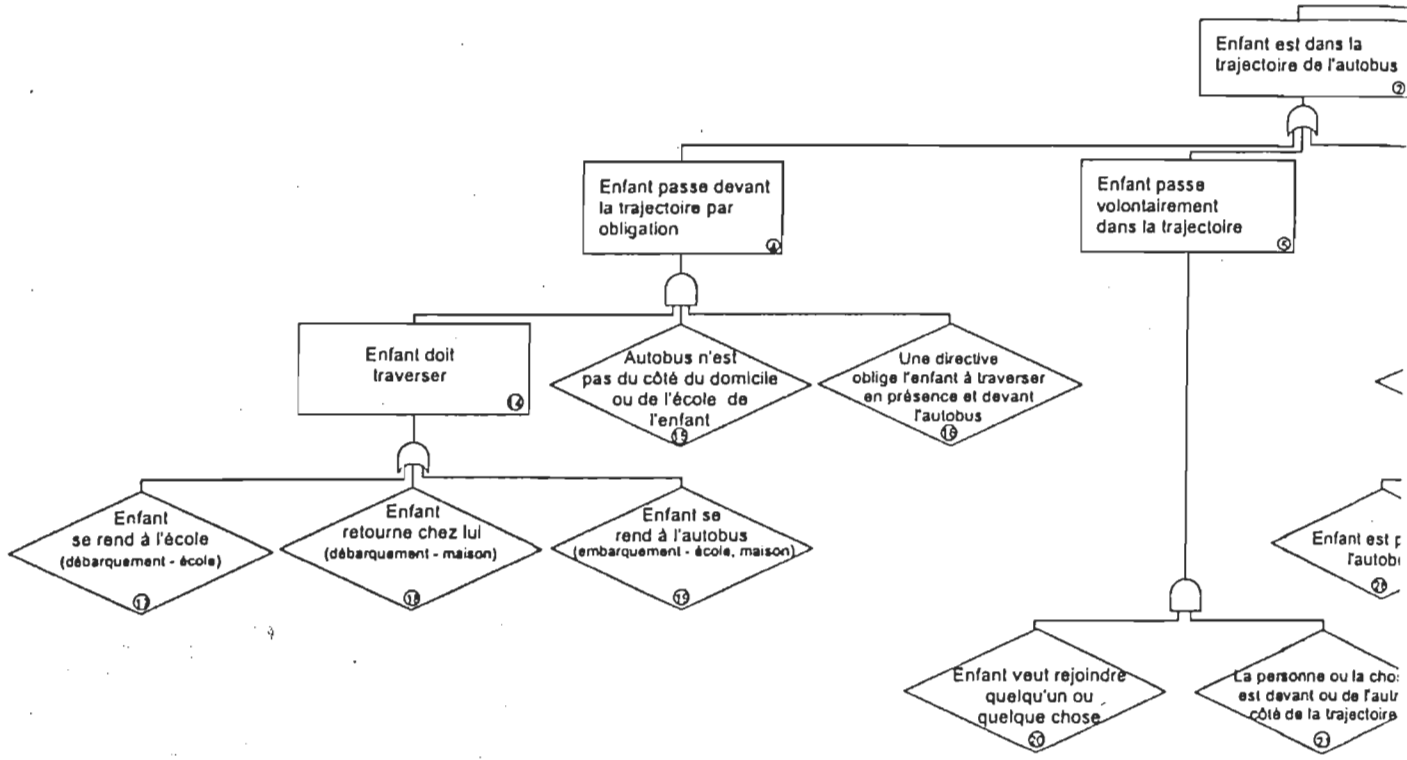
Annexe E : Vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation : Dispositif Mécanique: Le bras d'éloignement.

Annexe A

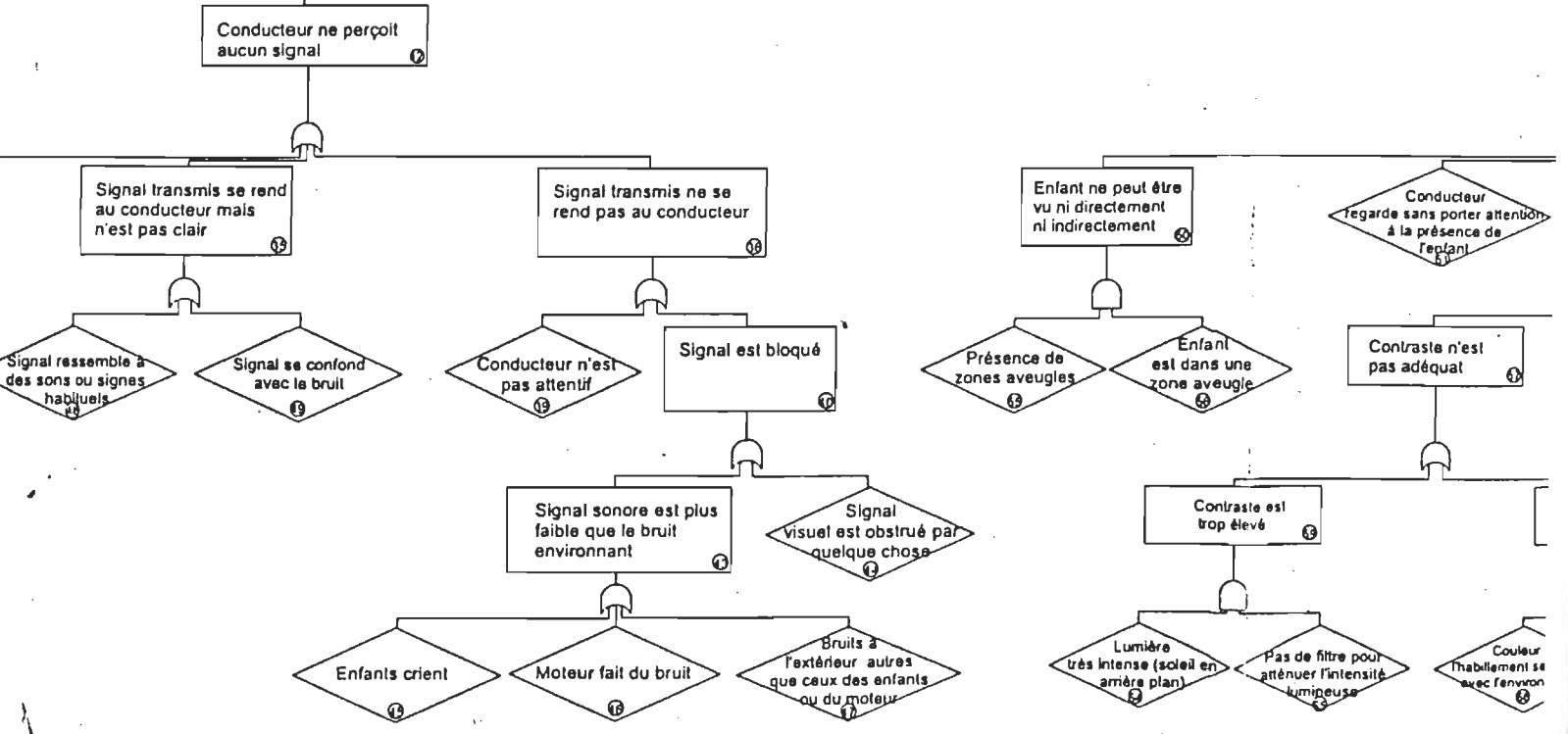
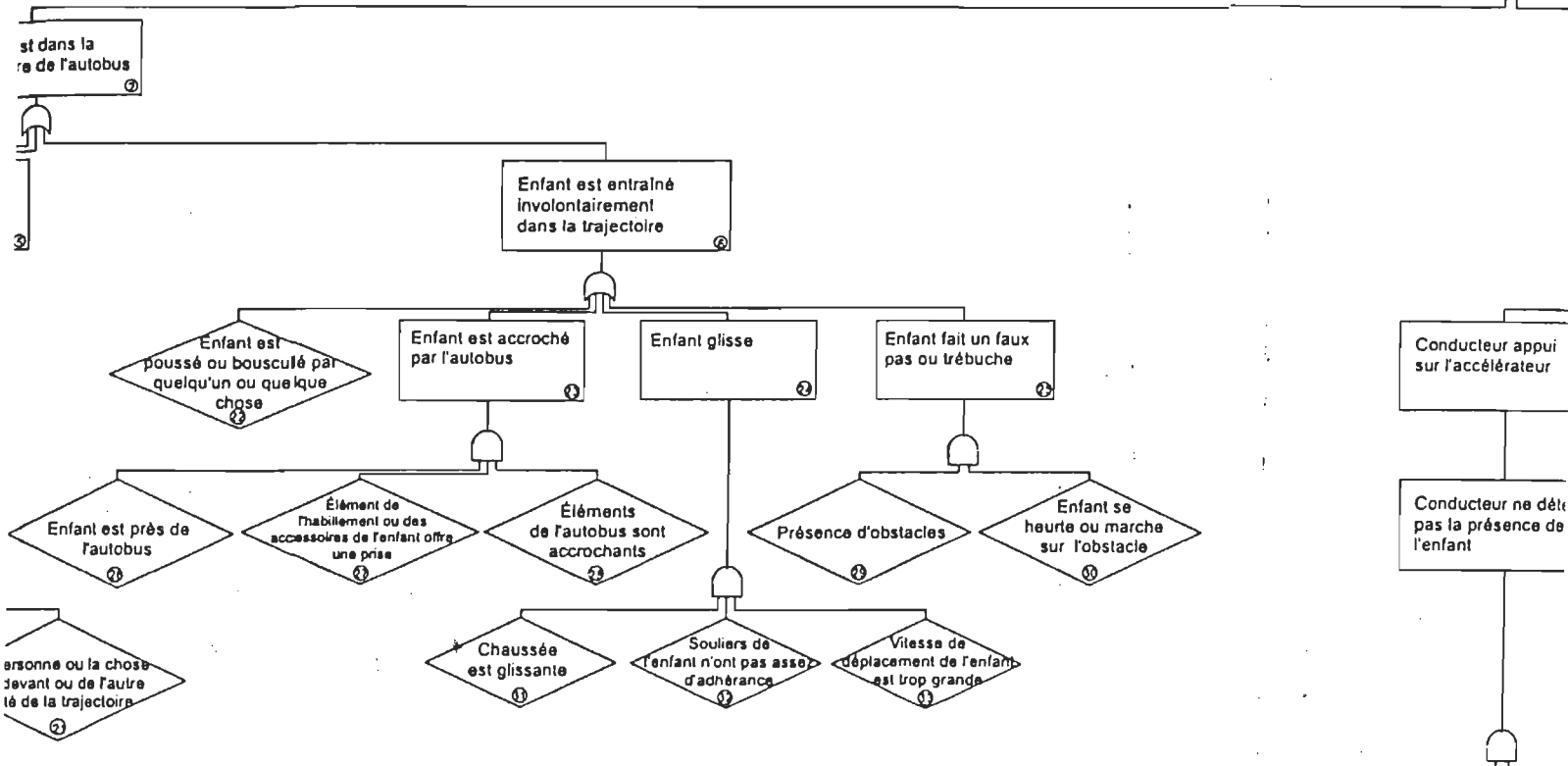
Comité Aviseur-Technique - Représentants

Georges Cyr	Société de l'Assurance Automobile du Québec
Charles Gauthier	National Association of State Directors of Pupil Transportation Services – United States
John Giannone	Laidlaw Education services
Pierre Labranche	Commission professionnelle des services de transport du Québec
Robert Monster	Ministry of Transportation of Ontario
Jean-Yves Vallée	Les entreprises Michel Corbeil Inc.
David White	Nova Scotia Utility and Review Board & Président Comité ACNOR D-250
Charles Gautier	Transports Canada – Centre de développement des transports
Claude Guérette	Transports Canada – Centre de développement des transports
Paul Lemay	Transports Canada – Centre de développement des transports
Isabelle Marcil	Transports Canada – Centre de développement des transports
Viliam Glazduri	Transports Canada – Sécurité routière
Jim White	Transports Canada – Sécurité routière

Annexe B
Arbre de défaillances



Enfant est blessé par l'a



876)

Enfant est blessé par l'autobus

Autobus déplacé

Autobus démarre

Conducteur appui sur l'accélérateur

Autobus est entraîné en l'absence de la volonté du conducteur

Conducteur ne détecte pas la présence de l'enfant

Frein à main n'est pas actionné

Freins ne sont pas en fonction

Défectuosité des freins

Conducteur enlève involontairement le pied du frein

Conducteur ne met pas le pied sur le frein

Transmission tourne

Conducteur ne voit pas l'enfant

Soulier du conducteur glisse de la pédale

Transmission est embrayée

Conducteur échappe la pédale d'embrayage

Conducteur regarde sans porter attention à la présence de l'enfant

Visibilité est réduite

Conducteur ne regarde pas dans la zone où se trouve l'enfant

Contraste n'est pas adéquat

Image est brouillée

Conducteur oublie de vérifier

Conducteur ne considère pas requis de vérifier

Contraste est trop faible

Intempéries

Miroir reflète une image distordue

Fenêtres et/ou miroirs sont sales ou abîmés

Conducteur est certain d'avoir bien suivi le déplacement des enfants

Enfant traverse la trajectoire à un endroit inhabituel

pour tension

Couleur de l'habillement se confond avec l'environnement

Manque d'éclairage

Enfant ne connaît pas les règles de sécurité

Enfant ne respecte les règles de sécurité

Système d'éclairage insuffisant

Endroit est sombre

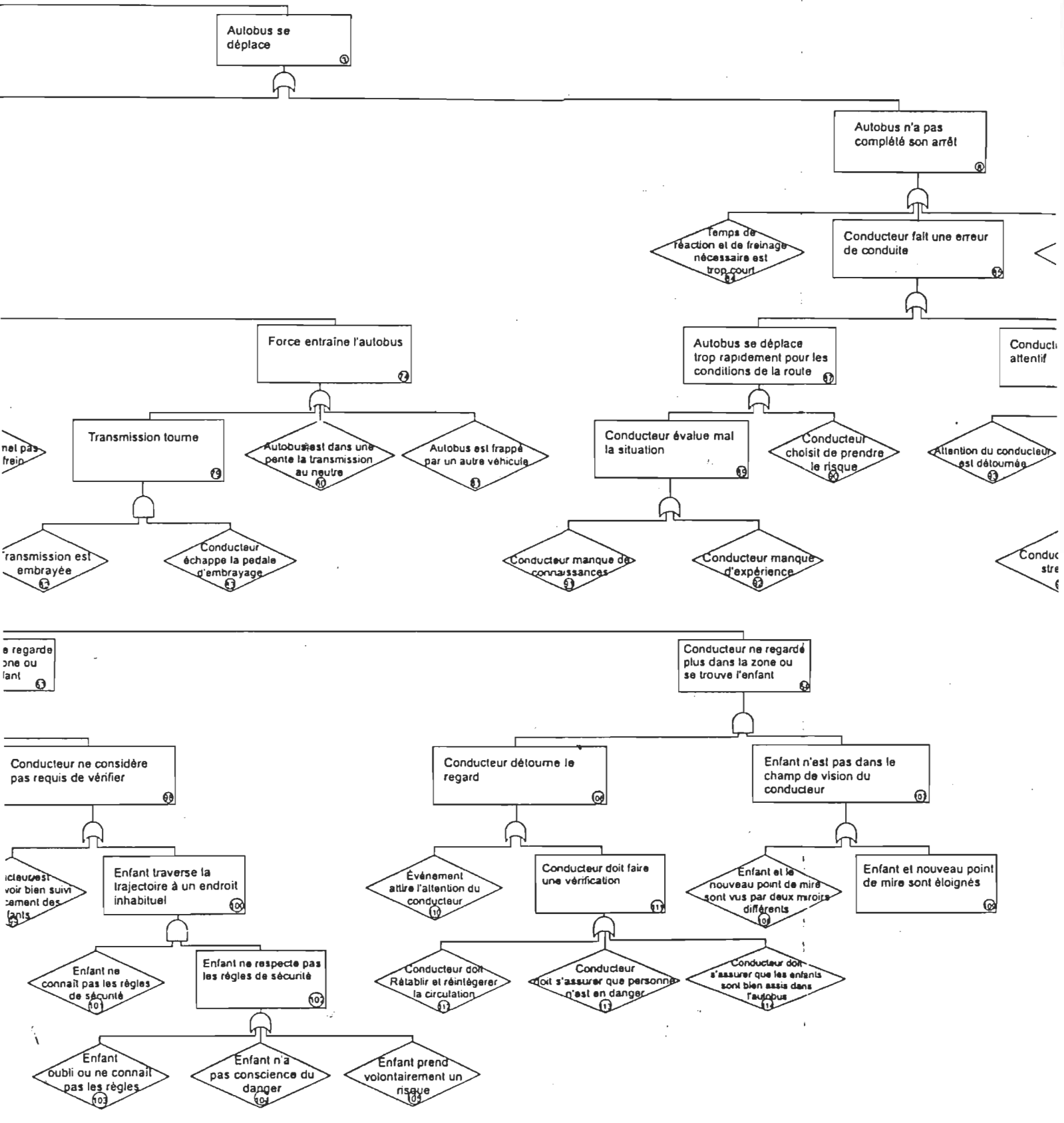
Enfant oublie ou ne connaît pas les règles

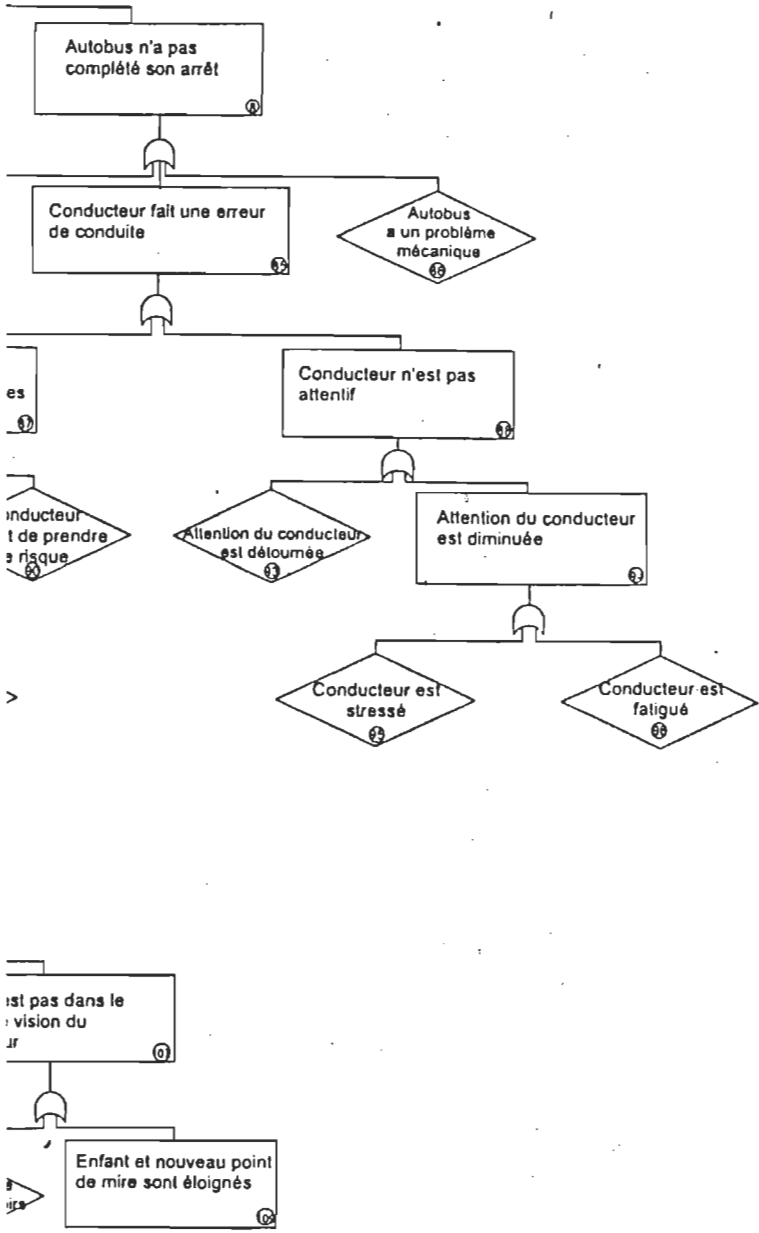
Enfant n'est pas conscient du danger

Le soleil est couché

Présence d'ombres indésirables

87c)





ARBRE DE DÉFAILLANCES

Tableau 3**PROBABILITÉ DES ÉVÉNEMENTS INDÉSIRABLES**

Numéro	Niveau précédent(%)			
	Perception du risque des conducteurs & (.) écart type	Analyse des accidents	Synthèse	Evénement sommet(%)
1	-	-	-	-
2			100	100
3			100	100
4	21(21,38)	54	50	50
5	54(25,15)	13	20	20
6	26(21,07)	33	30	30
7	51(25,90)	87	80	80
8	49(25,90)	13	20	20
9	81(25,33)	90	85	68
10	19(24,33)	10	15	12
11			100	68
12			100	68
13			100	68
14			100	50
15			100	50
16			100	50
17	8(5,10)	0	5	2.5
18	63(26,22)	58	80	40
19	30(25,65)	15	15	7.5
20			100	20
21			100	20
22	31(17,81)	20	20	6
23	16(19,65)	20	15	4.5
24	29(16,39)	50	45	13.5
25	23(15,41)	10	20	6
26			100	4.5
27			100	4.5
28			100	4.5
29			100	6
30			100	6
31			100	13.5
32			100	13.5
33			100	13.5
34	43(24,08)		40	27
35	32(17,72)		30	20.5

36	28(14,11)		30	20.5
37	38(17,95)		35	9.5
38	63(17,95)		65	18
39	43(26,87)		35	7
40	58(26,87)		65	13.5
41	66(21,09)		65	6
42	34(21,09)		35	3.5
43	58(21,55)		60	8
44	42(21,55)		40	5.5
45	58(18,99)		60	5
46	30(18,65)		30	2.5
47	13(12,36)		10	1
48	50(15,99)		50	10
49	50(15,99)		50	10
50	24(16,85)		25	17
51	10(3,65)		10	7
52	24(12,31)		20	14
53	15(10,28)		15	10
54	27(16,72)		30	20
55			100	17
56			100	17
57	52(18,77)		55	8
58	48(18,77)		45	6
59	63(14,77)		65	5
60	37(14,77)		35	3
61	60(18,55)		60	3.5
62	13(8,02)		15	1
63	28(13,97)		25	1.5
64			100	5
65			100	5
66	48(24,24)		45	1.5
67	52(24,24)		55	2
68			100	2
69			100	2
70	61(18,440)		65	1.25
71	39(18,44)		35	0.75
72			100	12
73			100	12
74			100	12
75	42(34,07)		45	5.5
76	39(28,68)		40	5
77	19(12,00)		15	2
78			100	5
79	46(28,95)		45	5.5
80	27(16,83)		25	3
81	30(24,53)		30	4

82			100	5.5
83			100	5.5
84	50(16,23)		50	10
85	38(18,84)		40	8
86	20(29,31)		10	2
87	59(16,85)		60	5
88	41(16,85)		40	3
89	53(15,64)		50	2.5
90	47(15,64)		50	2.5
91	47(14,94)		50	1.25
92	53(14,94)		50	1.25
93	60(12,40)		60	2
94	40(12,40)		40	1
95	64(15,17)		60	0.6
96	35(15,69)		40	0.4
97	24(10,89)		30	3
98	76(10,89)		70	7
99	40(25,12)		40	3
100	60(25,12)		60	4
101			100	4
102			100	4
103	33(10,84)		35	1.4
104	43(13,31)		40	1.6
105	24(14,93)		25	1
106			100	20
107			100	20
108	45(16,53)		50	10
109	55(16,53)		50	10
110	41(14,47)		40	8
111	59(14,47)		60	12
112	32(14,90)		30	3.5
113	37(11,70)		40	5
114	31(20,40)		30	3.5

Tableau 4

**FACTEURS INCLUS DANS L'ARBRE DE DÉFAILLANCES AVEC
PROBABILITÉ POUR CHAQUE CAUSE / ÉVÉNEMENT DE CAUSER
L'ÉVÉNEMENT SOMMET.**

1	Enfant est blessé par l'autobus
2	Enfant est dans la trajectoire de l'autobus 100%
3	Autobus se déplace 100%
4	Enfant passe devant la trajectoire par obligation 50%
5	Enfant passe volontairement dans la trajectoire 20%
6	Enfant est entraîné involontairement dans la trajectoire 30%
7	Autobus démarre 80%
8	Autobus n'a pas complété son arrêt 20%
9	Conducteur appui sur l'accélérateur 68%
10	Autobus est entraîné en l'absence de la volonté du conducteur 12%
11	Conducteur ne détecte pas la présence de l'enfant 68%
12	Conducteur ne perçoit aucun signal 68%
13	Conducteur ne voit pas l'enfant 68%
14	Enfant doit traverser 50%
15	Autobus n'est pas du côté du domicile ou de l'école de l'enfant 50%
16	Une directive oblige l'enfant à traverser en présence et devant l'autobus 50%
17	Enfant se rend à l'école (débarquement - école) 2.5%
18	Enfant retourne chez lui (débarquement - maison) 40%
19	Enfant se rend à l'autobus (embarquement - école, maison) 7.5%
20	Enfant veut rejoindre quelqu'un ou quelque chose, <i>s'immobilise brusquement pour ramasser quelque chose ou revient sur ses pas pour ramasser quelque chose</i> 20%
21	La personne ou la chose est devant ou de l'autre côté de la trajectoire 20%

22	Enfant est poussé ou bousculé par quelqu'un ou quelque chose 6%
23	Enfant est accroché par l'autobus 4.5%
24	Enfant glisse 13.5%
25	Enfant fait un faux pas ou trébuche 6%
26	Enfant est près de l'autobus 4.5%
27	Élément de l'habillement ou des accessoires de l'enfant offre une prise 4.5%
28	Éléments de l'autobus sont accrochants 4.5%
29	Présence d'obstacles 6%
30	Enfant se heurte ou marche sur l'obstacle 6%
31	Chaussée est glissante 13.5%
32	Souliers de l'enfant n'ont pas assez d'adhérence 13.5%
33	Vitesse de déplacement de l'enfant est trop grande 13.5%
34	Aucun signal n'est transmis 27%
35	Signal transmis se rend au conducteur mais n'est pas clair 20.5%
36	Signal transmis ne se rend pas au conducteur 20.5%
37	Témoins incapables d'avertir le conducteur 9.5%
38	Personne n'est conscient ou témoin de la scène 18%
39	Conducteur n'est pas attentif 7%
40	Signal est bloqué 13.5%
41	Temps disponible pour réagir est trop court 6%
42	Témoins paralysés à la vue de la scène 3.5%
43	Signal sonore est plus faible que le bruit environnant 8%
44	Signal visuel est obstrué par quelque chose 5.5%
45	Enfants crient 5%
46	Moteur fait du bruit 2.5%
47	Bruits à l'extérieur autres que ceux des enfants ou du moteur 1%
48	Signal ressemble à des sons ou signes habituels 10%
49	Signal se confond avec le bruit 10%

50	Enfant ne peut être vu ni directement ni indirectement 17%
51	Conducteur regarde sans porter attention à la présence de l'enfant 7%
52	Visibilité est réduite 14%
53	Conducteur ne regarde pas dans la zone où se trouve l'enfant 10%
54	Conducteur ne regarde plus dans la zone où se trouve l'enfant 20%
55	Présence d'angles morts 17%
56	Enfant est dans un angle mort 17%
57	Contraste n'est pas adéquat 8%
58	Image est brouillée 6%
59	Contraste est trop élevé 5%
60	Contraste est trop faible 3%
61	Intempéries 3.5%
62	Miroir reflète une image distordue <i>ou sont mal ajustés</i> 1%
63	Fenêtres et/ou miroirs sont sales ou abîmés 1.5%
64	Lumière très intense (soleil en arrière plan) 5%
65	Pas de filtre pour atténuer l'intensité lumineuse 5%
66	Couleur de l'habillement se confond avec l'environnement 1.5%
67	Manque d'éclairage 2%
68	Système d'éclairage insuffisant 2%
69	Endroit est sombre 2%
70	Le soleil est couché 1.25%
71	Présence d'ombres indésirables 0.75%
72	Frein à main n'est pas actionné 12%
73	Freins ne sont pas en fonction 12%
74	Force entraîne l'autobus 12%
75	Défectuosité des freins 5.5%
76	Conducteur enlève involontairement le pied du frein 5%
77	Conducteur ne met pas le pied sur le frein 2%

78	Soulier du conducteur glisse de la pédale 5%
79	Transmission tourne 5.5%
80	Autobus est dans une pente la transmission au neutre 3%
81	Autobus est frappé par un autre véhicule 4%
82	Transmission est embrayée 5.5%
83	Conducteur échappe la pédale d'embrayage 5.5%
84	Temps de réaction et de freinage nécessaire sont trop courts 10%
85	Conducteur fait une erreur de conduite 8%
86	Autobus a un problème mécanique 2%
87	Autobus se déplace trop rapidement pour les conditions de la route 5%
88	Conducteur n'est pas attentif 3%
89	Conducteur évalue mal la situation 2.5%
90	Conducteur choisit de prendre le risque 2.5%
91	Conducteur manque de connaissances 1.25%
92	Conducteur manque d'expérience 1.25%
93	Attention du conducteur est détournée 2%
94	Attention du conducteur est diminuée 1%
95	Conducteur est stressé 0.6%
96	Conducteur est fatigué 0.4%
97	Conducteur oublie de vérifier 3%
98	Conducteur ne considère pas requis de vérifier 7%
99	Conducteur est certain d'avoir bien suivi le déplacement des enfants 3%
100	Enfant traverse la trajectoire à un endroit inhabituel 4%
101	Enfant ne connaît pas les règles de sécurité 4%
102	Enfant ne respecte pas les règles de sécurité 4%
103	Enfant oublie ou ne connaît pas les règles 1.4%
104	Enfant n'a pas conscience du danger 1.6%
105	Enfant prend volontairement un risque 1%

106	Conducteur détourne le regard 20%
107	Enfant n'est pas dans le champ de vision du conducteur 20%
108	Enfant et le nouveau point de mire sont vus par deux miroirs différents 10%
109	Enfant et nouveau point de mire sont éloignés 10%
110	Événement attire l'attention du conducteur 8%
111	Conducteur doit faire une vérification 12%
112	Conducteur doit rétablir et réintégrer la circulation 3.5%
113	Conducteur doit s'assurer que personne n'est en danger 5%
114	Conducteur doit s'assurer que les enfants sont bien assis dans l'autobus 3.5%

Annexe C

Relation de la grille d'évaluation par rapport à l'arbre de défaillances

SÉCURITÉ (50%)

1. Impact du dispositif de sécurité (100%) :

1.1 Le dispositif empêche l'enfant de passer sous les roues de l'autobus.....	100
1.2 Le dispositif empêche l'enfant de se retrouver dans les zones dangereuses.....	100
1.3 Il détecte ou aide le conducteur à détecter la présence d'enfants.....	95
1.3.1 Le dispositif détecte la présence d'enfants dans les zones dangereuses (Evénement 11 – Arbre de défaillances).....	95
1.3.1.1 le dispositif détecte la présence d'un enfant immobile?.....	45
1.3.1.2 le dispositif détecte la présence d'un enfant en mouvement?.....	35
1.3.1.3 le dispositif fait la différence entre un objet et un enfant?.....	15

1.3.2	Le dispositif aide le conducteur à détecter la présence d'un enfant (Événement 13 -- Arbre de défaillances)	70
1.3.2.1	le dispositif amplifie l'image d'un enfant dans les zones dangereuses? (Événement 52 -- Arbre de défaillances).....	15
1.3.2.2	le dispositif améliore la vision du conducteur dans les zones dangereuses?.....	70
1.3.2.2.1	Améliore-t-il les contrastes?	8
	Améliore la luminosité (Événement 59 -- Arbre de défaillances)	5
	Évite les éblouissements (Événement 60 -- Arbre de défaillances)	3
1.3.2.2.2	Améliore-t-il la clarté de la vision? Si oui, comment?.....	7
	Élimine les effets des intempéries sur la visibilité (Événement 61 -- Arbre de défaillances)	4
	Améliore la clarté de l'image réfléchiée par les miroirs (Événement 62 - Arbre de défaillances)	1
	Permet aux miroirs et fenêtres de rester propres (Événement 63 -- Arbre de défaillances)	2

1.3.2.2.3	Permet de concentrer l'attention du conducteur sur la zone où se trouve l'enfant.....	30
	Oblige ou rappelle au conducteur de porter attention à toutes les zones potentiellement dangereuses (Événement 53 -- Arbre de défaillances)	17
	Limite le nombre de points de vues nécessaires aux vérifications d'usage (Événement 54 -- Arbre de défaillances)	13
1.3.2.2.4	Aide le conducteur à percevoir les signaux provenant de personnes témoins de la scène?.....	40
	Amplifie le signal (Événement 35 -- Arbre de défaillances)	20
	Rend le signal plus distinctif (Événement 36 -- Arbre de défaillances)	20
1.3.2.3	le dispositif fait la différence entre un enfant et un objet	15

2. Champ d'action (100%) :

	Quelle est la proportion des zones dangereuses couvertes par le dispositif?.....	100
2.1	À l'avant.....	72
2.2	Sur les côtés	24
2.3	À l'arrière.....	4

3. <u>Temps de protection ou de détection du dispositif (100%) :</u>	
3.1 Le dispositif débute son état de détection lorsque :.....	60
L'autobus ralentit avant de s'arrêter.....	100
L'autobus s'arrête.....	90
L'autobus se remet en marche.....	80
3.2 Le dispositif termine son état de protection lorsque l'autobus circule à une certaine vitesse :.....	40
4. <u>Est-ce que le dispositif possède une mémoire d'enregistrement des évènements ?</u>	
5. <u>Quel est le temps d'action du dispositif?</u>	
6. <u>Est-ce que le dispositif émet des ondes/radiations dangereuses ?</u>	
7. <u>Est-ce que le dispositif fait une auto vérification de ses composantes de base?</u>	
8. <u>Est-ce que le dispositif émet un signal sonore externe avertissant l'enfant?</u>	

ERGONOMIE (40%)

9. L'impact sur la tâche du conducteur (50%) :

9.1 <u>Affecte négativement</u> sur la tâche du conducteur.....	60
9.1.1 dans la liberté de mouvement	25
9.1.2 dans l'accessibilité des commandes	25
9.1.3 dans le bon fonctionnement des équipements	25
9.1.4 dans l'obstruction de sa vision.....	25
9.2 Le système <u>encombre la tâche</u> du conducteur.....	40
9.2.1 Exigences	70
9.2.1.1 Exigences mentales	45
Dans les nombre d'opérations.....	20
Dans la possibilité de confusion.....	20
Connaissances ou habiletés particulières	20
Dans la nécessité d'une formation	20
Dans la facilité opérationnelle en état de stress ou de fatigue.....	20

9.2.1.2 Exigences sensorielles.....	40
9.2.1.2.1 visuelles	60
niveau de clarté	25
information obstruée.....	25
dispositif dans le champ visuel de confort.....	25
durée d'attention visuelle	25
9.2.1.2.2 auditives	30
portée de l'information sonore.....	50
distinction des sons environnants	50
9.2.1.2.3 tactiles	10
sensibilité grossière ou fine	
9.2.1.3 Exigences physiques.....	15
nombre de membres sollicités	25
système affecté au niveau du confort postural.....	25
niveau de dextérité exigé	25
niveau d'effort exigé	25

9.2.2	Le moment où le système exige que cet effort supplémentaire soit fournit.....	30
9.2.2.1	À l'approche.....	20
9.2.2.2	À l'embarquement ou au débarquement.....	50
	Lors de la préparation de l'embarquement /débarquement.....	25
	Lors du contrôle de l'embarquement /débarquement.....	35
	Lors de la préparation du départ.....	40
9.2.2.3	Au départ	30

10. L'interface du dispositif pour les enfants (40%) :

10.1	Niveau d'adaptation des enfants face au dispositif.....	60
10.1.1	enfants de petites tailles	20
10.1.2	posture de l'enfant	20
10.1.3	vitesse de déplacement de l'enfant	20
10.1.4	dispositif déjoué par l'enfant	20
10.1.5	nécessité d'une consigne particulière	20
	claire et adaptée au niveau d'apprentissage des enfants	50
	la facilité d'oubli et la non respectabilité de la consigne par les enfants.....	50

10.2 Le dispositif représente-t-il un risque pour les enfants.....	40
10.2.1 L'enfant peut-il se blesser	25
10.2.2 Le dispositif peut-il encourager certains comportements à risque.....	25
10.2.3 Est-il accrochant pour les enfants?	25
10.2.4 Peut-il faire perdre l'équilibre, chuter ou faire glisser un enfant?	25

11. Autres aspects ergonomiques (10%) :

11.1 Le dispositif peut-il effectuer de fausses alarmes?	80
11.1.1 Quelle est la fréquence appréhendée des fausses alarmes du dispositif.....	50
11.1.2 Quel est le niveau de contrariété (agacement, irritation) des fausses alarmes du système.....	50
11.2 Le fonctionnement du dispositif est-il susceptible de produire un bruit involontaire?.....	20
11.2.1 Quelle est le niveau sonore du bruit involontaire?	50
11.2.2 Quel est le niveau de contrariété (agacement, irritation) du bruit involontaire?.....	50

ÉCONOMIQUE ET AUTRES FACTEURS (10%)

12. <u>Quel est le coût du dispositif?</u>	35
12.1 Coût d'acquisition en dollars?.....	20
12.2 Coût de maintenance?.....	20
12.3 Coût d'installation?.....	20
12.4 Coût opérationnelle (ralentissement des activités de transport scolaire)?.....	20
12.5 Coût de formation?.....	20
13. <u>Cycle de fiabilité des composantes du système?</u>	35
14. <u>Le système est-il garanti?</u>	20
15. <u>Le dispositif fonctionne-t-il sans faire de bruit excessif à l'extérieur?</u>	10

Annexe E

Vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation

Dispositif Mécanique: Le bras d'éloignement.

Spécification:

- Bras à l'avant de l'autobus scolaire seulement
- Bras ouvert quand l'autobus s'arrête
- Bras se referme quand l'autobus repart

Répondre aux questions en inscrivant un X dans les cases blanches appropriées de la colonne identifiée par un X.

		Pointage	X	Note	Note cumulative	Pointage Global
		%		%	%	%
A	SÉCURITÉ	100		72.0	86.0	50%
1	Impact du dispositif de sécurité (l'évaluateur doit répondre aux points 1.1, 1.2 et 1.3)	100		100.0		
1.1	Le dispositif empêche l'enfant de passer sous les roues de l'autobus.	100				
1.2	Le dispositif empêche l'enfant de se retrouver dans les zones dangereuses (Voir dessin ci-joint)	100	x	100.0		
1.3	Le dispositif détecte ou aide le conducteur à détecter la présence d'enfants dans les zones dangereuses	95				
1.3.1	Le dispositif détecte la présence d'enfants dans les zones dangereuses	95				
1.3.1.1	Est-ce que le dispositif détecte la présence d'un enfant immobile ?	45				
	Oui	100				
	Non		x			

1.3.1.2	Est-ce que le dispositif détecte la présence d'un enfant en mouvement ?	35		
	Oui	100		
	Non		x	
1.3.1.3	Est-ce que le dispositif fait la différence entre un objet et un enfant?	15		
	Oui	100		
	Non		x	
1.3.2	Le dispositif aide le conducteur à détecter la présence d'un enfant dans les zones dangereuses	70		
1.3.2.1	Est-ce que le dispositif amplifie l'image d'un enfant dans les zones dangereuses ?	15		
	Oui	100		
	Non		x	
1.3.2.2	Est-ce que le dispositif améliore la vision du conducteur dans les zones dangereuses ?	70		
1.3.2.2,1	Améliore-t-il les contrastes? Si oui, comment?	8		
	Améliore la luminosité	5		
	Évite les éblouissements	3		
1.3.2.2,2	Améliore-t-il la clarté de la vision? Si oui, comment?	7		
	Élimine ou diminue suffisamment les effets des intempéries sur la visibilité	4		
	Améliore la clarté de l'image réfléchiée par les miroirs	1		
	Permet aux miroirs et fenêtres de rester propres et exempts de buée, givre, glace ou autres	2		
1.3.2.2,3	Permet-il de concentrer l'attention du conducteur sur la zone où se trouve l'enfant? Si oui, comment?	30		
	Oblige ou rappelle au conducteur de porter attention à toutes les zones potentiellement dangereuses	17		
	Limite le nombre de points de vues nécessaires aux vérifications d'usage	13		

1.3.2.2,4	Aide-t-il le conducteur à percevoir les signaux provenant de personnes témoins de la scène? Si oui, comment?	40		
	Amplifie le signal	20		
	Rend le signal plus distinctif	20		
1.3.2.3	Est-ce que le dispositif fait la différence entre un enfant et un objet ?	15		
	Oui	100		
	Non		x	
2	Champ d'action?	100		72.0
	Quelle est la proportion des zones dangereuses couvertes par le dispositif?	100		72.0
2.1	À l'avant	72		72.0
	Toute	100	x	100.0
	La grande majorité	75		
	La moitié	50		
	Un peu	25		
	Très peu			
2.2	Sur les côtés	24		
	Toute	100		
	La grande majorité	75		
	La moitié	50		
	Un peu	25		
	Très peu		x	
2.3	À l'arrière	4		
	Toute	100		
	La grande majorité	75		
	La moitié	50		
	Un peu	25		
	Très peu		x	

3	Temps de protection ou de détection du dispositif?	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0
3.1	Le dispositif débute son état de protection ou de détection lorsque :	60	<input checked="" type="checkbox"/>	60.0
	L'autobus ralentit avant de s'arrêter	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0
	L'autobus s'arrête	90	<input type="checkbox"/>	
	L'autobus se remet en marche	80	<input type="checkbox"/>	
3.2	Le dispositif termine son état de protection ou de détection lorsque :	40	<input checked="" type="checkbox"/>	40.0
	L'autobus circule à une certaine vitesse	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0
4	Est-ce que le dispositif possède une mémoire pour enregistrer les évènements ?		<input checked="" type="checkbox"/>	
	Oui		<input type="checkbox"/>	
	Non		<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Quel est le temps d'action du dispositif?		<input checked="" type="checkbox"/>	
	Moins de 10 millisecondes		<input type="checkbox"/>	
	Entre 10 millisecondes et 1 seconde		<input checked="" type="checkbox"/>	
	Entre 1 seconde et 2 secondes		<input type="checkbox"/>	
	Plus de 2 secondes		<input type="checkbox"/>	
6	Est-ce que le dispositif émet des ondes/radiations dangereuses ?		<input checked="" type="checkbox"/>	
	Oui		<input type="checkbox"/>	
	Non		<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Est-ce que le dispositif fait une auto-vérification de ses composantes de base?		<input checked="" type="checkbox"/>	
	Oui		<input type="checkbox"/>	
	non		<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Est-ce que le dispositif émet un signal sonore externe avertissant aussi l'enfant?		<input checked="" type="checkbox"/>	
	Oui		<input type="checkbox"/>	
	Non		<input checked="" type="checkbox"/>	

B	ERGONOMIE		100	85.2	80.1
9	Le dispositif a-t-il un impact sur la tâche du conducteur? Si oui, ...		50	47.2	
		Non	100		
9.1	Peut-il nuire au conducteur dans l'exécution de sa tâche? Si oui...		60	60.0	
		Non	100	x	100.0
9.1.1	Peut-il nuire à la liberté de mouvement du conducteur?		25		25.0
		Jamais	100	x	100.0
		Rarement	75		
		Régulièrement	50		
		Très souvent	25		
		Toujours			
9.1.2	Peut-il nuire à l'accessibilité des commandes de l'autobus?		25		25.0
		Jamais	100	x	100.0
		Rarement	75		
		Régulièrement	50		
		Très souvent	25		
		Toujours			
9.1.3	Peut-il faire interférence au bon fonctionnement des équipements de l'autobus?		25		25.0
		Jamais	100	x	100.0
		Rarement	75		
		Régulièrement	50		
		Très souvent	25		
		Toujours			
9.1.4	Peut-il obstruer la vision du conducteur?		25		25.0
		Pas du tout	100	x	100.0
		Un peu	75		
		Moyennement	50		
		Beaucoup	25		

40%

9.2	Le dispositif ajoute-t-il à la tâche du conducteur? Si oui...	40	<input checked="" type="checkbox"/>	34.5	
	Non	100	<input type="checkbox"/>		
9.2.1	De quelle nature sont les exigences?	70	<input checked="" type="checkbox"/>	67.4	
9.2.1.1	Exigences mentales? Si oui...	45	<input checked="" type="checkbox"/>	45.0	
	Non	100	<input type="checkbox"/>		
9.2.1.1.1	Comment qualifieriez-vous le nombre d'opérations nécessaires à son utilisation?	20	<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	
	Aucune ou très peu	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0	
	Peu	75	<input type="checkbox"/>		
	Moyennement	50	<input type="checkbox"/>		
	Assez	25	<input type="checkbox"/>		
	Beaucoup		<input type="checkbox"/>		
9.2.1.1.2	Les commandes ou informations transmises par le dispositif peuvent-elles porter à confusion?	20	<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	
	Jamais	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0	
	Rarement	75	<input type="checkbox"/>		
	Parfois	50	<input type="checkbox"/>		
	Souvent	25	<input type="checkbox"/>		
	Toujours		<input type="checkbox"/>		
9.2.1.1.3	Requiert-il des connaissances ou habiletés mentales particulières ?	20	<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	
	Aucune ou très peu	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0	
	Peu	75	<input type="checkbox"/>		
	Moyennement	50	<input type="checkbox"/>		
	Assez	25	<input type="checkbox"/>		
	Beaucoup		<input type="checkbox"/>		

9.2.1.1.4	Nécessite-t-il une formation ou un apprentissage? Si oui, quel est la durée de cette formation?	20	<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	
	Aucune	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0	
	Courte	75	<input type="checkbox"/>		
	Moyennement	50	<input type="checkbox"/>		
	Longue	25	<input type="checkbox"/>		
	Très longue		<input type="checkbox"/>		
9.2.1.1.5	S'opère-t-il facilement en situation de stress ou de fatigue du conducteur?	20	<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	
	Très facilement	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0	
	Assez facilement	50	<input type="checkbox"/>		
	Difficilement		<input type="checkbox"/>		
9.2.1.2	Exigences sensorielles? Si oui, sont-elles...	40	<input checked="" type="checkbox"/>	40.0	
	Non	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0	
9.2.1.2.1	Visuelles? Si oui...	60	<input checked="" type="checkbox"/>	37.5	
	Non	100	<input type="checkbox"/>		
9.2.1.2.1.1	Quel est le niveau de clarté de l'information visuelle transmise par le dispositif?	25	<input checked="" type="checkbox"/>	25.0	
	Très bon	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0	
	Bon	75	<input type="checkbox"/>		
	Passable	50	<input type="checkbox"/>		
	Mauvais	25	<input type="checkbox"/>		
	Très mauvais		<input type="checkbox"/>		
9.2.1.2.1.2	Cette information visuelle peut-elle être obstruée?	25	<input checked="" type="checkbox"/>	25.0	
	Jamais	100	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0	
	À l'occasion	75	<input type="checkbox"/>		
	Régulièrement	50	<input type="checkbox"/>		
	Très souvent	25	<input type="checkbox"/>		
	Toujours		<input type="checkbox"/>		

9.2.1.2.1.3	Le dispositif est-il dans le champ visuel de confort du conducteur?	25		
	Oui	100		
	Non		x	
9.2.1.2.1.4	Quelle est la durée de l'exigence visuelle imposée par le dispositif ?	25		12.5
	Très courte	100		
	Courte	75		
	Moyenne	50	x	50.0
	Longue	25		
	Très longue			
9.2.1.2.2	Exigences auditives? Si oui...	30		
	Non	100	x	100.0
9.2.1.2.2.1	Comment qualifieriez-vous la portée de l'information sonore transmise par le dispositif?	50		
	Parfaite	100		
	Bonne	75		
	Passable	50		
	Mauvaise	25		
	Inacceptable			
9.2.1.2.2.2	L'information sonore est-elle suffisamment significative pour se distinguer des sons environnants?	50		
	Très	100		
	Assez	75		
	Passablement	50		
	Peu	25		
	Pas du tout			
9.2.1.2.3	Exigences tactiles? Si oui...	10		
	Non	100	x	100.0

9.2.1.2.3.1	Quel est le type de sensibilité tactile exigé?	100		
	Grossière	100		
	Moyen	50		
	Fine			
9.2.1.3	Exigences physiques? Si oui...	15		11.3
	Non	100	x	100.0
9.2.1.3.1	Combien de membres sont sollicités lors de l'utilisation du dispositif?	25		
	1	100		
	Plus de 1			
9.2.1.3.2	Le dispositif affecte-t-il le niveau de confort postural du conducteur quel que soit son anthropométrie?	25		25.0
	Pas du tout	100	x	100.0
	Un peu	75		
	Moyennement	50		
	Assez	25		
	Beaucoup			
9.2.1.3.3	Quel est le niveau de dextérité et de précision exigé?	25		25.0
	Grossier	100	x	100.0
	Moyen	50		
	Fin			
9.2.1.3.4	Quel est le niveau d'effort exigé pour un conducteur moyen?	25		25.0
	Faible	100	x	100.0
	Moyen	50		
	Élevé			
9.2.2	À quel moment le dispositif exige-t-il que cette activité supplémentaire soit exécutée?	30		18.8
9.2.2.1	À l'approche?	20		20.0
	Oui	100	x	100.0
	Non			

9.2.2.2	À l'embarquement ou au débarquement? Si oui...	50		12.5	
	Lors de la préparation de l'embarquement/débarquement	25	x	25.0	
	Lors du contrôle de l'embarquement /débarquement	35			
	Lors de la préparation du départ	40			
9.2.2.3	Au départ?	30		30.0	
	Oui	100	x	100.0	
	Non				
10	Décrivez la qualité de l'interface dispositif-enfants	40		28.0	
10.1	Quel est le niveau d'adaptation du dispositif aux caractéristiques des enfants?	60		30.0	
10.1.1	Convient-il aux enfants de petites statures?	20		20.0	
	Oui	100	x	100.0	
	Non				
10.1.2	La posture de l'enfant a-t-elle une influence sur l'efficacité du dispositif (penché, à genou, à plat ventre)?	20			
	Non	100			
	Oui		x		
10.1.3	Convient-il aux vitesses de déplacement de l'enfant?	20		20.0	
	Oui	100	x	100.0	
	Non				
10.1.4	Peut-il être contourné ou déjoué par l'enfant?	20		10.0	
	Jamais	100			
	Difficilement	75			
	Probablement	50	x	50.0	
	Facilement	25			
	Très facilement				
10.1.5	Oblige-t-il les enfants à suivre une consigne particulière? Si oui...	20			
	Non	100	x	100.0	

10.1.5.1	Est-elle claire et adaptée au niveau d'apprentissage de tous les enfants?	50		
	Très bien	100		
	Assez bien	75		
	Passablement bien	50		
	Mal	25		
	Très mal			
10.1.5.2	La consigne peut-elle être facilement oubliée ou non respectée par les enfants?	50		
	Très difficilement	100		
	Difficilement	75		
	Moyennement	50		
	Facilement	25		
	Très facilement			
10.2	Le dispositif représente-t-il un risque pour les enfants Si oui, ...	40		40.0
	Non	100	x	100.0
10.2.1	L'enfant peut-il se blesser (couper, heurter, égratigner, etc.) ou être blessé sur ou par le dispositif?	25		18.8
	Impossible	100		
	Peu probable	75	x	75.0
	Probable	50		
	Très probable	25		
	Inévitable			
10.2.2	Le dispositif peut-il encourager certains comportements à risque chez les enfants?	25		18.8
	Impossible	100		
	Peu probable	75	x	75.0
	Probable	50		
	Très probable	25		
	Inévitable			

10.2.3	Est-il accrochant pour les enfants?		25		12.5
		Pas du tout	100		
		Un peu	50	x	50.0
		Assez			
10.2.4	Peut-il faire perdre l'équilibre, chuter ou glisser un enfant?		25		25.0
		Pas du tout	100	x	100.0
		Un peu	50		
		Assez			
11	Autres aspects ergonomiques		10		10.0
11.1	Le dispositif est-il susceptible de produire de fausses alarmes? Si oui ...		80		80.0
		non	100	x	100.0
11.1.1	Quelle est la fréquence appréhendée des fausses alarmes produites par le dispositif ?		50		50.0
		nulle	100	x	100.0
		faible	75		
		moyenne	50		
		élevée	25		
		très élevée			
11.1.2	Quel est le niveau de contrariété (agacement, irritation) des fausses alarmes produites par le dispositif?		50		50.0
		nul	100	x	100.0
		faible	75		
		moyen	50		
		élevé	25		
		très élevé			
11.2	Le fonctionnement du dispositif est-il susceptible de produire un bruit involontaire? Si oui ...		20		20.0
		non	100	x	100.0

11.2.1	Quel est le niveau sonore du bruit involontaire?	50		50.0	
	nul	100	x	100.0	
	faible	75			
	moyenne	50			
	élevé	25			
	très élevé				
11.2.2	Quel est le niveau de contrariété (agacement, irritation) du bruit involontaire?	50		50.0	
	nul	100	x	100.0	
	faible	75			
	moyen	50			
	élevé	25			
	très élevé				
C	ÉCONOMIQUE ET AUTRES FACTEURS	100		73.0	77.4
12	Quel est le coût du dispositif?	35		28.0	
12.1	Coût d'acquisition en dollars?	20		20.0	
	0-500	100	x	100.0	
	501-1000	75			
	1001-2000	50			
	> 2001	25			
12.2	Coût d'entretien?	20			
	aucun	100			
12.3	Coût d'installation?	20		20.0	
	1 heure par autobus	100	x	100.0	
	2 heures par autobus	75			
	3 heures par autobus	50			
	4 heures et plus	25			

10%

12.4	Coût d'opération (ralentissement des activités de transport scolaire)?	20		20.0	
	aucun	100	x	100.0	
12.5	Coût de formation?	20		20.0	
	1 heure par groupe de 10 et plus	100	x	100.0	
	2 heures par groupe de 10 et plus	75			
	3 heures par groupe de 10 et plus	50			
	4 heures et plus par groupe de 10 et plus	25			
13	Cycle de fiabilité des composantes du système?	35		35.0	
	cycle de fiabilité des composantes du système est connu	100	x	100.0	
	on ne connaît pas le cycle de fiabilité des composantes du système				
14	Est-ce que le système est garanti?	20			
	à vie sur le véhicule original	100			
	10 ans	75			
	5 ans	50			
	1 an	25			
	Aucune garantie		x		
15	Autres Facteurs:	10		10.0	
	Est-ce que le dispositif opère sans faire de bruit excessif à l'extérieur?	10		10.0	
	Oui	100	x	100.0	
	Non				
Résultat Final					

Le résultat final était de 77.39%