

TRAVAUX DE RECHERCHE PORTANT SUR DES SYSTEMES D'AIDE A LA SECURITE DE LA CONDUITE ROUTIERE HIVERNALE

Masaru Matsuzawa*, Yasuhiko Kajiya* et Yasushi Tanaka**

*Civil Engineering Research Institute of Hokkaido
1-3, Hiragishi, Toyohira-ku, Sapporo, Hokkaido, 062-8602 Japon
Téléphone: +81-11-841-1746 Fax: +81-11-841-9747
E-mail: masaru@ceri.go.jp

**National Institute for Land and Infrastructure Management
(actuellement avec la Banque Asiatique de Développement)

1. Introduction

La conduite en hiver est rendue très difficile dans les régions froides et enneigées, les routes étant couvertes de neige et de verglas et la visibilité réduite du fait des mauvaises conditions météo, y compris les tempêtes de neige. Les accidents qui, dans des conditions normales n'auraient impliqué qu'un seul véhicule, se transforment souvent en collisions multiples en cas de faible visibilité, les autres conducteurs réagissant plus lentement en cas d'accidents. Les collisions multiples paralysent longtemps la circulation, affectant par là les activités quotidiennes. Même si des mesures physiques telles que les barrières à neige et les forêts brise-neige, ont été mises en place, il devient impératif de mettre sur pied un nouveau système de technologie ITS pour prévenir plus efficacement les accidents de la route. Depuis 1994, le Civil Engineering Research Institute (CERI) a développé des capteurs spécifiques pour régions froides (par ex. un radar à onde millimétrique), qui détectent des obstacles, et des systèmes de guidage visuel efficaces durant les tempêtes de neige.

Au niveau national, cinq ministères et agences intéressés par l'ITS (Ministère des Postes et Télécommunications, la Police Nationale, le Ministère des Transports, le Ministère du Commerce international et de l'Industrie et le Ministère de la Construction) ont créé une architecture système ITS en novembre 1999 pour la promotion du développement et la diffusion d'ITS. En avril 2000, le Ministère de la Construction (l'actuel Ministère des Terres, des Transports et de l'Infrastructure), conjointement avec le Hokkaido Development Bureau et d'autres organisations, ont élaboré des lignes directrices pour la diffusion de neuf services dans le cadre de l'architecture système ITS. Il s'agit de promouvoir des projets ITS au niveau régional et de développer et construire des systèmes efficaces pour la fourniture de services ITS. Le CERI a préparé un projet de proposition pour le Système d'autoroute d'assistance avancée pour les régions froides (Cold-Region AHS), un de ces neuf services. Ce projet de proposition a été préparé avec l'aide du Public Works Research Institute du Ministère de la Construction (l'actuel Institut National pour la gestion des Terres et des Infrastructures du Ministère des Terres, des Transports et de l'Infrastructure).

L'AHS pour régions froides comporte six sous-services définis dans l'architecture système créée par les cinq Ministères et agences du gouvernement central chargés de l'ITS, selon les situations dans lesquelles les services sont fournis et les fonctions nécessaires. Ces cinq sous-services sont les suivants : 1) Fourniture d'informations météo, 2) Fourniture d'information sur l'état des chaussées, 3) Fourniture d'informations sur les obstacles devant et derrière, 4) Avertissement aux véhicules proches et 5) Notification aux véhicules proches en cas d'accident. Le développement de l'AHS régions froides

est prévu de manière à ce qu'il soit compatible avec les Normes de communication routière de l'ancien Ministère de la Construction. En cas de faible visibilité, telle que les tempêtes de neige, ces services permettent la détection des chaussées glissantes et des obstacles, y compris les véhicules garés, par différents types de capteurs, et l'information collectée est envoyée aux conducteurs via un équipement embarqué sur les véhicules et des installations en bord de route. En outre, il est inclus un service pour la météo routière régionale et les prévisions avec lesquelles se fait la sélection des itinéraires. L'AHS régions froides comporte à cet effet toute une série de services d'aide plus importante que les systèmes ordinaires d'aide à la conduite croisière, aussi bien au niveau temporel que spatial. La figure 1 est un diagramme conceptuel de l'AHS régions froides.

Les défis posés pour la mise en œuvre de ces services fondés sur le AHS régions froides sont les suivants :

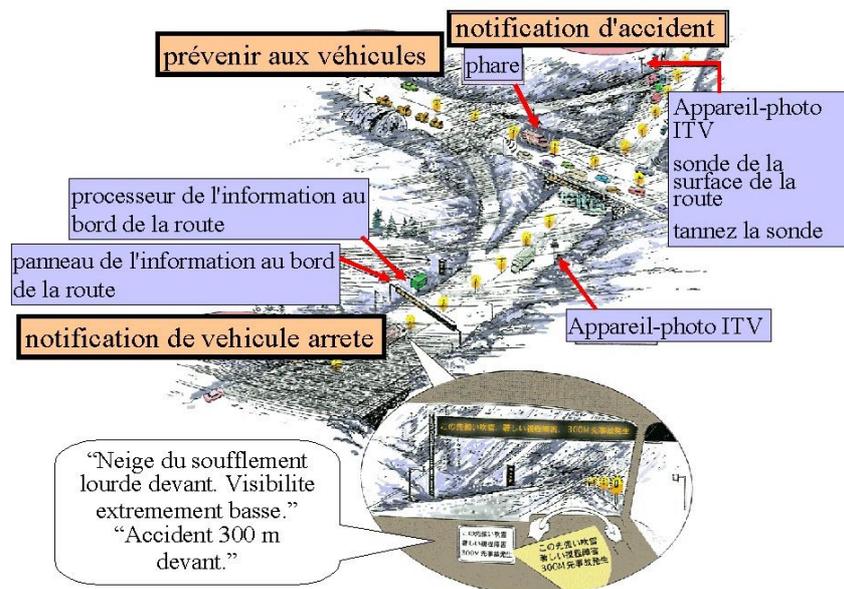


Figure 1 Diagramme conceptuel de l'AHS régions froides

- 1) Etude des technologies spécifiques régions froides, tels que les capteurs de détection d'obstacle, y compris un radar à ondes millimétriques capable de détecter des dangers vers l'avant, même en visibilité réduite, et des capteurs capables de détecter des surfaces verglacées très glissantes.
- 2) Mise au point de dispositifs d'information capable d'émettre des alertes continues en cas de danger et étude des méthodes et spécifications d'installations d'alerte en cas de danger.

A cet effet, le CERI et le Public Works Research Institute, qui avait fait les recherches et le développement d'un AHS pour les régions non froides, ont entamé une recherche et un développement en commun sur un système d'assistance croisière pour les routes hivernales. Dans le cadre de cette recherche conjointe, le Public Works Research Institute a été chargé du développement d'un capteur spécifique aux régions froides et le Civil Engineering Research Institute du développement d'un système pilote et d'un système d'alerte en cas de danger très convivial.

La présente étude reprend les résultats de l'enquête sur les spécifications pour le système d'alerte danger créé par le Civil Engineering Research Institute.

2. Etude des effets de l'avertissement en cas de danger du délinéateur lumineux sur le comportement des conducteurs.

Le panneau d'information routier est un moyen répandu de diffusion de l'information aux conducteurs. Cependant, dans les régions froides, il est mal adapté pour avertir les conducteurs en cas de dangers, entre autre du fait qu'en cas de faible visibilité, comme durant les tempêtes de neige, il devient inutile. La recherche s'est portée sur un système d'avertissement en cas de danger avec un délinéateur lumineux capable de fonctionner en continu et adapté à une faible visibilité. Les résultats antérieurs ont permis de préciser ce qui suit :

- 1) l'alerte par émission lumineuse est efficace comme aide à une conduite sûre.
- 2) le cycle court (rapide) de flash inspire la prudence aux conducteurs.
- 3) Les délinéateurs dont la lumière d'avertissement en cas de danger et la lumière de guidage visuel sont séparées (verticalement) sont efficace en cas de danger.

Les spécifications optimum n'ont pas encore été totalement précisées pour ces délinéateurs (position d'installation, opposition verticale des lumières, etc.). On a étudié, grâce à une expérimentation CG avec image mouvante et sujets et une expérience de conduite sur une route test, les spécifications optimum pour les délinéateurs d'avertissement en cas de danger.

3. Etude CG image mouvante

3.1 Points étudiés

(1) Position d'installation

Les positions d'installation du délinéateur lumineux ont été étudiées pour voir s'il fallait les placer au bord de la chaussée ou au centre. Pour cette recherche, on a utilisé une route à deux voies placées de chaque côté d'une bande centrale. Les comparaisons ont été faites pour les quatre configurations suivantes (au Japon, la conduite est à gauche) :

- position du DÉLINÉATEUR : latérale, conduite voie de gauche (côté passager)
- position délinéateur latérale, conduite voie de droite : (voie passante)
- position délinéateur : bande centrale, conduite voie de gauche (côté passager)
- position délinéateur : bande centrale, conduite voie de droite (voie passante)

(2) Hauteur du délinéateur lumineux

Le délinéateur lumineux de AHS région froide assure une fonction de guidage visuel en cas de faible visibilité ou autre, ainsi qu'un avertissement en cas de danger pour avertir les véhicules des obstacles et autres dangers vers l'avant. Une lumière pour chacune des fonctions est installée sur le piquet. La hauteur de ces deux lumières doit faciliter la vision et leur reconnaissance par les conducteurs.

Dans cette recherche, l'étude a été effectuée pour les différentes combinaisons de hauteurs de la lumière de guidage visuel et l'espace vertical séparant la lumière de guidage visuel et la lumière d'avertissement en cas de danger (ci-dessous la "distance-lumière"). Les différentes hauteurs pour la lumière de guidage visuel étaient situées entre 1,0 et 3,0 m, et la distance lumière varie entre 0 et 1,5 m. Les variations sont faites avec incrément de 0,5 m.

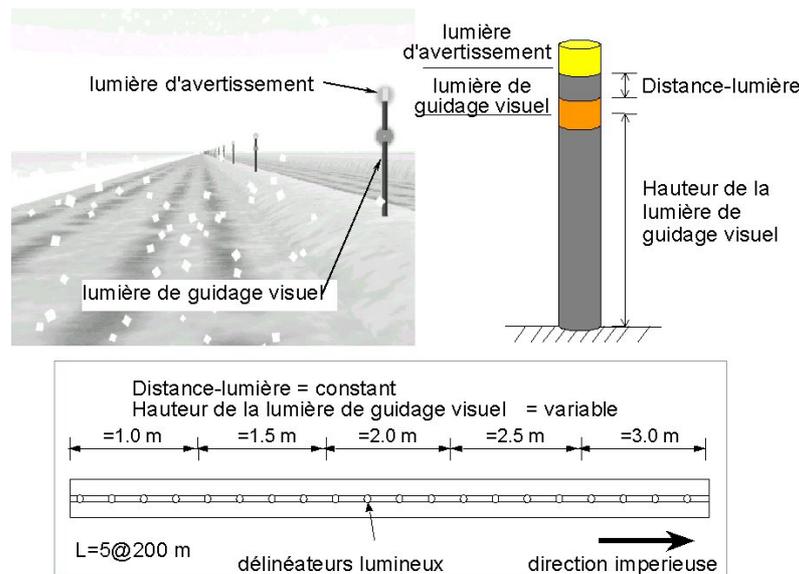


Figure 2 Exemple de CG (haut gauche), structure du délinéateur (haut droit), et structure CG pour les comparaisons de hauteur de la lumière de guidage visuel (bas)

3.2 Structure de l'étude

(1) Création de CG image mouvante

Les CG image mouvante ont été créés dans les conditions et avec les combinaisons décrites sous 3.1. Les conditions communes, routières et météorologiques, sont les suivantes (Figure 2) :

- Horaires : journée
- Météo : neige
- surface chaussée : neige tassée
- Vitesse de déplacement : 50 km/h
- Nombre d'autres véhicules: zéro
- Hauteur de la ligne de vue : hypothèse prise, voiture ordinaire (1,2 m de haut)
- Intervalles entre les délinéateurs: 20 m

(2) Sujets

Au total 58 sujets ont participé à l'expérience. Ils ont été sélectionnés pour respecter une bonne répartition de leurs sexe, âge et historique de conducteur.

(3) Méthode

Les fichiers CG à images animées enregistrés sur le disque dur ont été projetés sur écran. La projection a pris en compte la hauteur de la ligne de vision conducteur (1,2 m) et les points de fuite (15 degrés à droite et à gauche).

(4) Questionnaire

Les trois points ci-dessous ont servi de base à l'évaluation. Les sujets ont reçu un questionnaire à l'avance avec pour instruction de le remplir tout en regardant le film CG.

- 1) Prudence : la lumière d'avertissement en cas de danger est-elle efficace?
- 2) Guidage : la lumière de guidage est-elle efficace ?
- 3) Confort : quel est le niveau d'inconfort ? Est-ce gênant ?

Deux méthodes d'évaluation pour la position du délinéateur ont été appliquées pour ces trois points : 1) comparaison par paire des quatre versions d'installation mentionnées ci-dessus, méthode selon laquelle deux versions sont comparées entre elles et 2) une notation sur une échelle de cinq des quatre versions.

L'évaluation sur cinq niveaux a porté sur la hauteur de la source lumineuse. Pour la notation, les sujets ont évalué le sens de la prudence, le guidage et le niveau de confort en regardant le CG où la distance-lumière restait constante mais où la hauteur du guidage visuel variait. CG et exemples sont repris à la figure 2.

3.3 Résultats

(1) Position de l'installation

Les résultats expérimentaux de la comparaison de position de délinéateurs sont résumés.

Les résultats de la comparaison par paire indiquent qu'il y a sentiment de prudence plus important quand le conducteur est sur la voie adjacente aux délinéateurs (Figure 3). Cela s'observe que l'installation soit sur la bande centrale ou sur le côté gauche des voies. Le guidage reste pratiquement constant quelle que soit la combinaison de voies et de position d'installation. Le niveau de confort a tendance à baisser quand le conducteur se trouve sur la voie adjacente aux délinéateurs, qu'ils soient installés sur la bande centrale ou sur le côté gauche des voies.

L'évaluation en cinq point de chaque élément montre une certaine égalité entre le guidage et le niveau de confort (Figure 4). Les résultats pour la prudence sont les plus mauvais quand les délinéateurs sont installés sur le côté gauche de la route et que le véhicule circule sur la voie de droite (avec la position d'installation sur le bord de la route et la conduite dans la voie passante). Etant donné que pour la position d'installation, il est important qu'il y ait peu de différences de notation entre les voies, l'installation sur le côté droit (bande centrale) serait plus appropriée pour les routes à plusieurs voies.

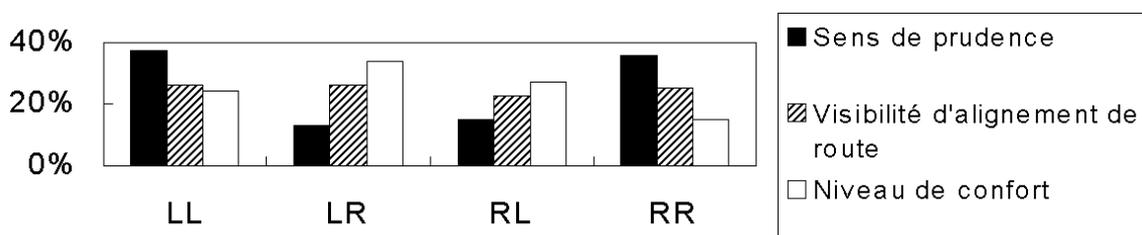


Figure 3 Comparaison par pair (séquence de flash): LL:Déplacement sur voie de gauche avec délinéateurs sur le côté gauche, LR:Déplacement sur voie de gauche avec délinéateurs sur le côté droit, RL:Déplacement sur voie de droit avec délinéateurs sur le côté gauche, RR:Déplacement sur voie de droit avec délinéateurs sur le côté droit

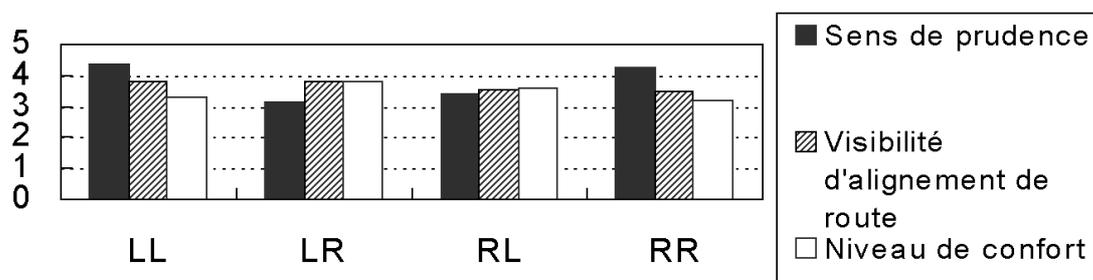


Figure 4 Evaluation de chaque élément (sur une échelle de cinq)

(2) Hauteur des sources lumineuses

La notation à cinq niveaux sur la hauteur de la source lumineuse a été effectuée avec les sujets en maintenant la distance-lumière mais en modifiant la hauteur de la lumière de guidage visuel. L'évaluation a permis de préciser ce qui suit (figure 5):

- Le délinéateur lumineux le mieux noté a été celui dont la lumière de guidage visuel était située à 1,5 m. Parmi eux, ce sont ceux dont la distance-lumière allait de 0 à 1,0 m ont obtenu les meilleurs résultats. En deuxième position, on trouve le délinéateur lumineux dont la lumière de guidage visuel était à 2,0 m de haut et dont la distance-lumière varie entre 0 et 0,5 m.

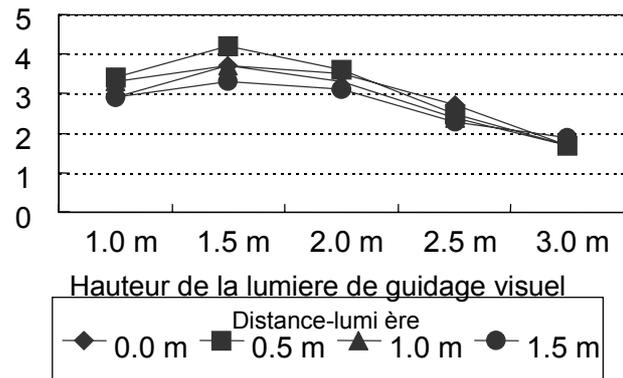


Figure 5 Evaluation de chaque élément (sur une échelle de cinq) pour la hauteur de la lumière de guidage visuel (quand les distances de la lumière d'avertissement danger sont de 0 m, 0,5 m, 1,0 m, et 1,5 m)

4. Expérience de conduite

4.1 Description de l'expérience

Il existe, sur la route de test du site expérimental Ishikari Snowstorm du CERI, un système pilote installé pour le développement de systèmes d'aide à la conduite dans les régions froides capable d'ajuster l'espace entre les délinéateurs et la distance-lumière. Une expérience de conduite a été faite avec des conducteurs en utilisant ce système pilote. L'équipement installé dans les véhicules d'essai ont enregistré le comportement à la conduite : vitesse, pression sur l'accélérateur, pression sur le frein, angle du volant et vecteur d'accélération (avant/arrière/droite/gauche).

Cette expérimentation concerne les spécifications fondamentales optimales pour les délinéateurs lumineux selon les indications dont on dispose.



Figure 6 Expérience de conduite : à gauche se trouve un panneau simulant l'obstacle; à droite le délinéateur lumineux expérimental.

4.2 Méthodes expérimentales

On a demandé aux conducteurs de conduire les véhicules d'essai sur la route test puis on a observé leur comportement selon deux conditions 1) avertissement par un délinéateur lumineux avant apparition de l'obstacle et 2) absence de la mise en garde. L'obstacle était un panneau représentant un petit véhicule derrière une congère sur le bord de la route. L'obstacle a été mis de manière à apparaître 80 m devant le véhicule d'essai. L'obstacle a été mis à différents endroits avec détermination aléatoire pour réduire l'effet d'apprentissage des conducteurs lors des essais. La figure 6 donne le montage.

Sur les lignes droites, un obstacle devait apparaître soudainement devant le véhicule dans une situation de tempête de neige avec une visibilité de 100 m. Dans les virages, l'obstacle utilisé était du

genre susceptible d'apparaître dans un virage glissant avec une vision sur une courte distance. La signification du flash des lumières d'avertissement en cas de danger a été expliquée avant aux conducteurs participant à l'essai.

4.3 Conditions expérimentales

Les expériences sur les spécifications optimum du délinéateur lumineux ont été conduites dans les conditions ci-dessous, déterminées conformément aux résultats de l'expérience CG :

- 1) Période d'émission lumineuse : comparaison entre un flash unique et des flash multiples et comparaison entre les nombres de flash par minute
- 2) Distance-lumière : comparaison entre 0,25 m et 0,5 m
- 3) Hauteur de la lumière de guidage visuel : comparaison entre 1,5 m et 2,0 m
- 4) Position d'installation du délinéateur lumineux : comparaison entre les côtés droit et gauche des voies

4.4 Résultats expérimentaux

(1) Comparaison selon séquences de flash

La figure 7 donne le résultats de la comparaison de vitesses de véhicule 80 m avant l'obstacle avec les flash lumineux d'avertissement de danger. Les quatre séquences figurent ci-dessous. La fréquence de flash était de 60 par minute pour chaque version. La durée lumineuse correspond à la durée allumée par rapport à la durée totale d'une période donnée. Les différentes séquences de flash sont les suivantes :

- Un flash et un ratio durée lumineuse de 0,3 (dénommé "1A")
- Un flash et un ratio durée lumineuse de 0,4 (dénommé "1B")
- Trois flash et un ratio durée lumineuse de 0,3 (dénommé "3A")
- Quatre flash et un ration durée lumineuse de 0,4 (dénommé "4B")

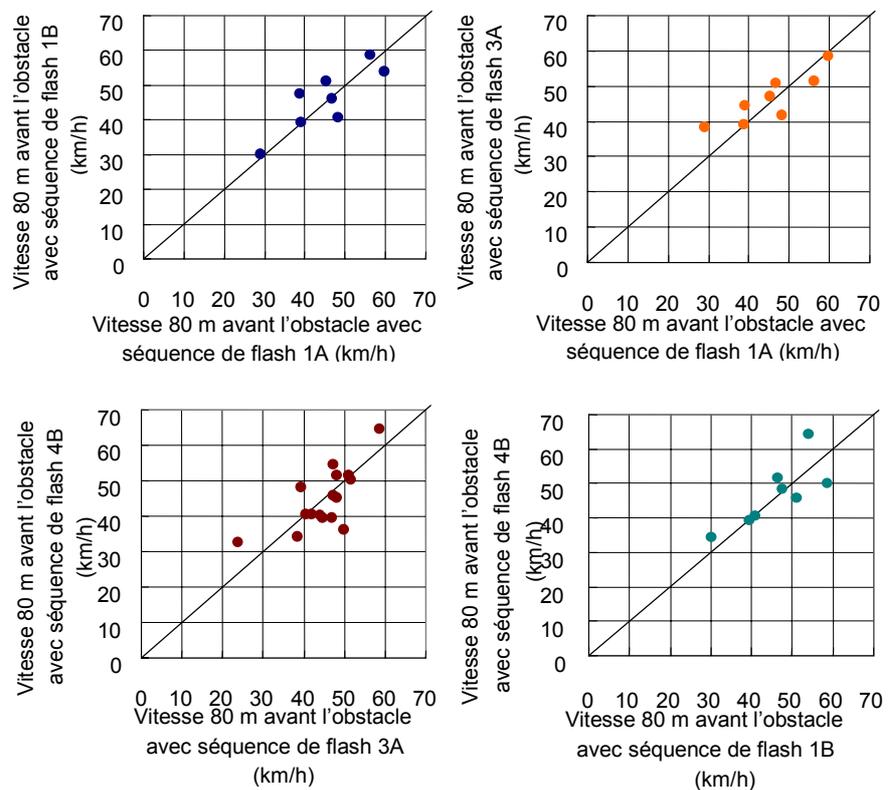


Figure 7 Comparaison de vitesse véhicule 80 m avant l'obstacle avec séquence de flash

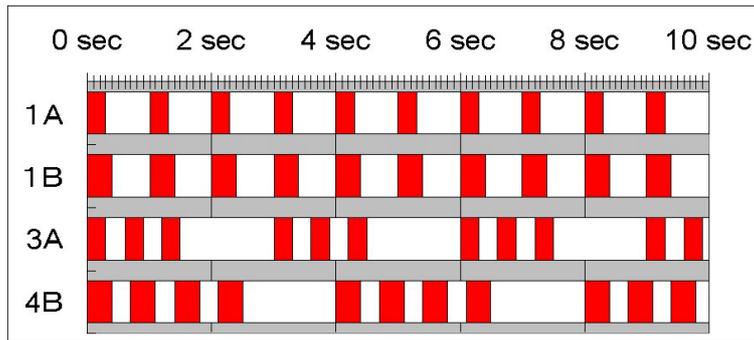


Figure 8 Séquence de flash : le blanc signifie flash

Comme indiqué sur la figure 7, on n'a pas noté de différence significative de vitesses de véhicule 80 m avant l'obstacle par rapport à la séquence de flash. Les tests statistiques n'ont pas fait ressortir de différence significative. Etant donné que des tests statistiques ont confirmé des différences de vitesses 80 m avant l'obstacle dues à la présence ou à l'absence d'un avertissement de danger, les différences d'effet de l'avertissement de danger sont modestes par rapport aux quatre séquences de flash expérimentales utilisées dans l'expérience.

La figure 9 montre aussi la comparaison de résultats des différences de positions au niveau du relâchement initial de l'accélérateur provoqué par la séquence lumineuse. Même si il y a peu de données, les différences sont considérées comme modestes par rapport à la séquence lumineuse.

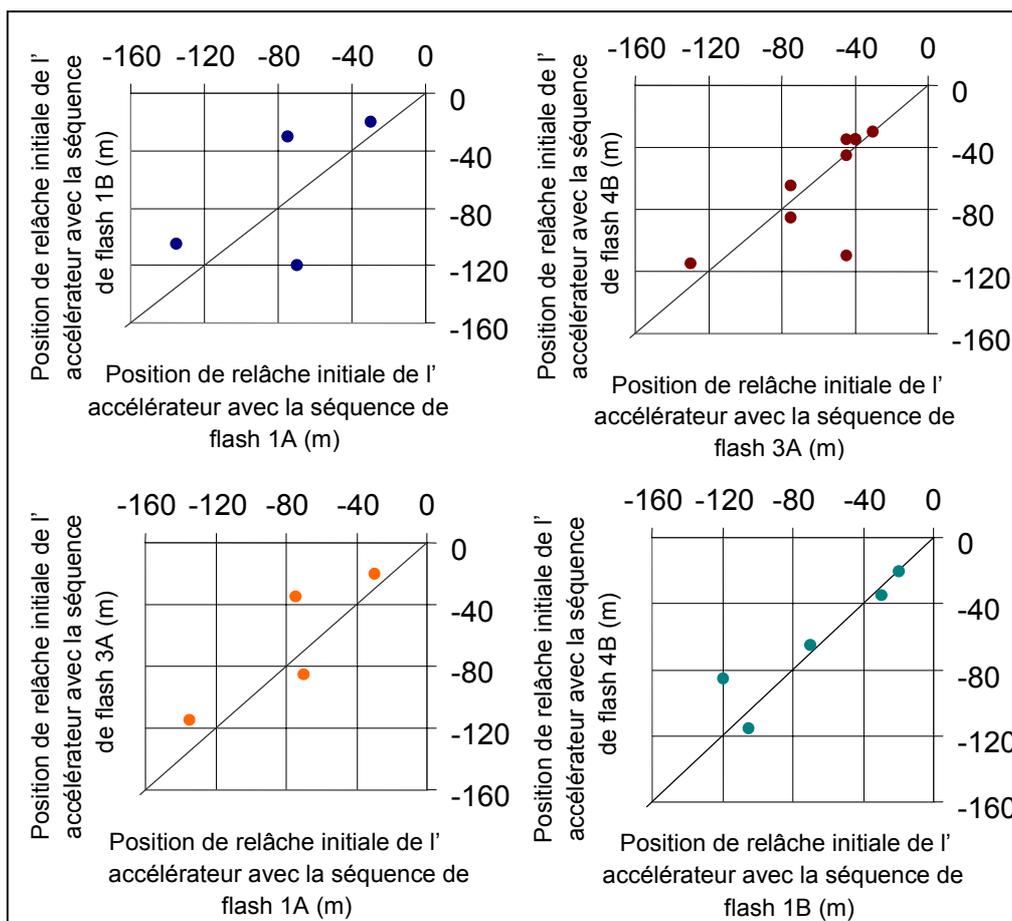


Figure 9 Comparaison des distance de relâche initiale de l'accélérateur selon les séquences de flash représenté par la distance par rapport à l'obstacle (la distance de l'obstacle est 0 m)

(2) Comparaison par distance-lumière

La figure 10 compare des vitesses de véhicule 80 m avant l'obstacle en utilisant des délinéateurs dont les distances-lumière sont de 0,25 m et 0,5 m. On n'a pas observé de différences de vitesses par rapport à la distance-lumière d'après la figure. La figure 11 compare les positions du premier relâchement de l'accélérateur mais il n'est pas possible de confirmer de différences de vitesses par rapport à la distance-lumière.

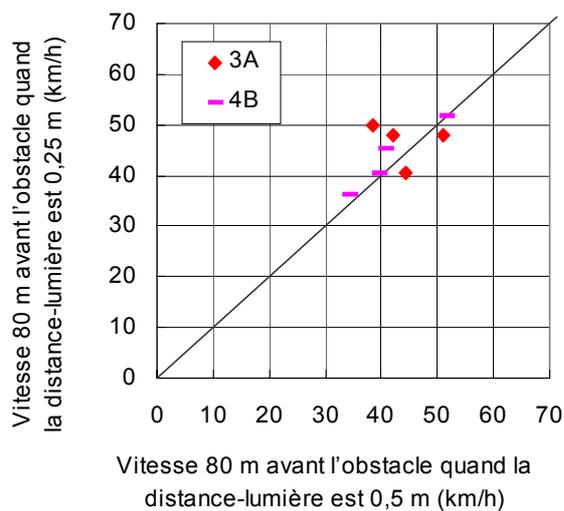


Figure 10 Comparaison de vitesse 80 m avant l'obstacle quand les distances de la lumière d'avertissement danger sont de 0,25 m et 0,5 m (3A et 4B sont les séquences de la lumière d'avertissement danger.)

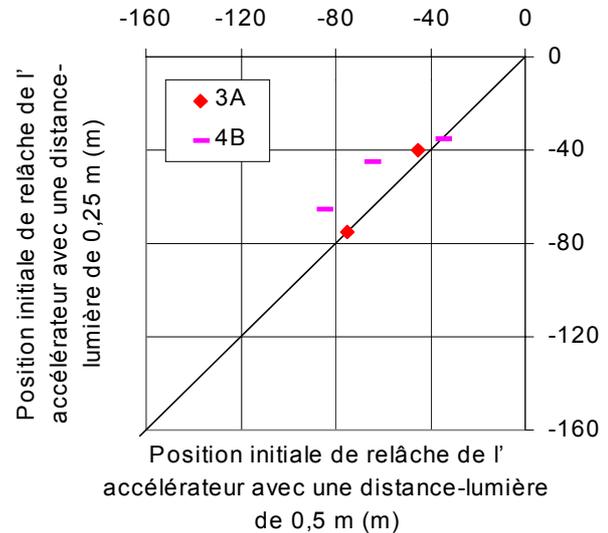


Figure 11 Comparaison des positions de relâche initiale de l'accélérateur quand les distances de la lumière d'avertissement danger sont 0,25 m et 0,5 m (3A et 4B sont les fréquences flash de la lumière d'avertissement danger.)

(3) Comparaison par hauteur de lumière de guidage visuel

La figure 12 montre les résultats de la comparaison de vitesses de véhicule 80 m avant l'obstacle en utilisant des délinéateurs dont les lumières de guidage visuel étaient à une hauteur de 1,5 m et 2,0 m. Selon la figure, on ne note pas de différences de vitesses par rapport à la hauteur de la lumière de guidage visuel. La figure 13 compare les positions de premier relâchement de l'accélérateur mais il n'y a pas eu de confirmation de différences de vitesses par rapport à la hauteur de la lumière de guidage visuel.

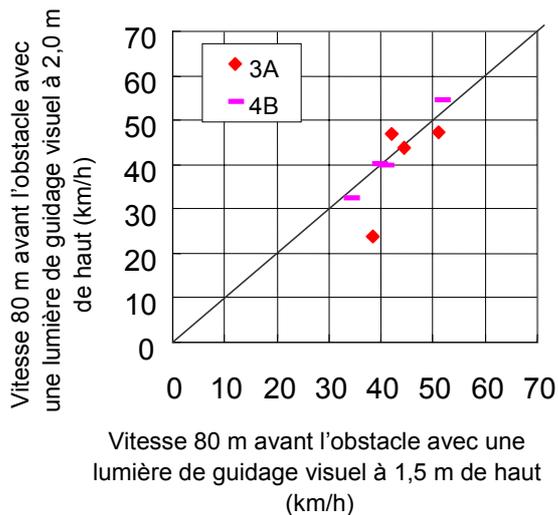


Figure 12 Comparaison de vitesse 80 m avant l'obstacle quand les hauteurs de la lumière de guidage visuel sont 1,5 m et 2,0 m (3A et 4B sont les séquences flash de la lumière d'avertissement danger.)

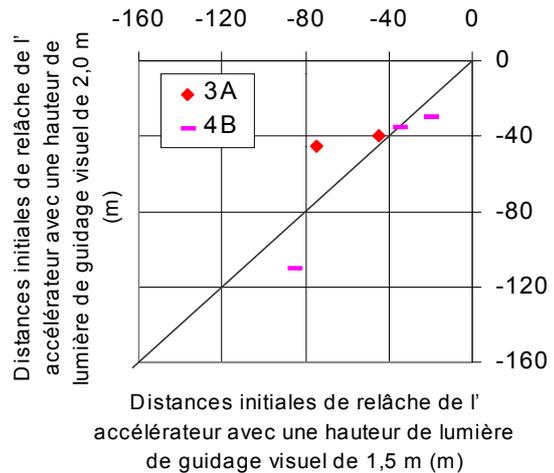


Figure 13 Comparaison des distances initiales de relâche de l'accélérateur quand les hauteurs de lumière de guidage visuel sont 1,5 m et 2,0 m (3A et 4B sont les séquences flash de la lumière d'avertissement danger.)

(4) Comparaison selon la position d'installation des délinéateurs

La figure 14 donne les résultats de comparaison de vitesses de véhicule 80 m avant l'obstacle quand les délinéateurs sont installés sur les côtés droit et gauche des voies. Quand ils sont installés sur le côté droit, il y a deux cas d'augmentation de vitesses 80 m avant l'obstacle. Cependant, les tests statistiques n'ont pas donné de différences significatives.

5. Conclusions

Le CERI et le Public Works Research Institute ont procédé à une étude conjointe du système d'aide à la sécurité de la conduite sur routes en hiver. Pour élaborer des spécifications pour le délinéateur lumineux avec lumière d'avertissement danger (position d'installation, hauteur de la source lumineuse, etc.), le CERI a effectué une expérimentation CG avec image mobile et une expérience de conduite avec des conducteurs qui ont effectué les essais pour vérifier l'acceptabilité par les utilisateurs.

Dans l'expérience CG avec sujets, la position de l'installation à droite des voies (bande centrale) a été relativement bien évaluée. Les délinéateurs avec une lumière de guidage à une hauteur de 1,5-2,0 m ont été bien noté, tout comme les délinéateurs avec des distance pour la lumière d'alerte en cas de danger de 0-0,5 m.

Ensuite, des conducteurs ont participé à des essais pour expérimentation sur route d'essai afin

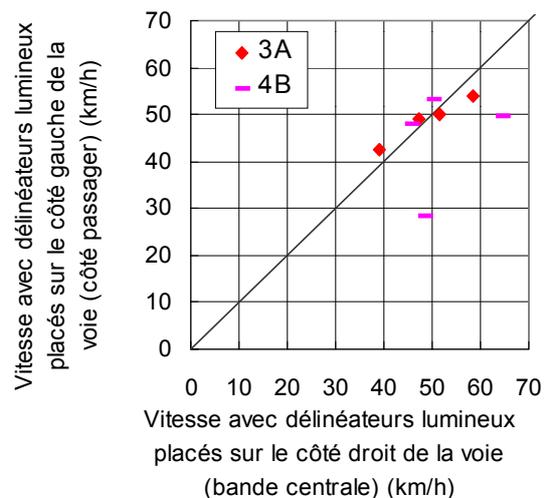


Figure 14 Comparaison de vitesse 80 m avant l'obstacle quand les délinéateurs lumineux sont installés sur les côtés droit et gauche des voies (3A et 4B sont les fréquences flash de la lumière d'avertissement danger.)

de voir le comportement opérationnel par rapport aux séquences de flash, à la structure et position d'installation du délinéateur lumineux. Les structures expérimentales ont été sélectionnées en relation avec les résultats de l'expérience CG avec sujets sus-mentionnée. Il en ressort que l'on n'a pas trouvé de différences de comportement de conduite par rapport aux séquences de flash, de la distance-lumière, de la hauteur de la lumière de guidage visuel et de la position d'installation du délinéateur lumineux. Il est possible que, entre autre, du fait que les conditions expérimentales rencontrant un haut niveau d'acceptabilité ont été choisies en se fondant sur l'expérimentation CG, les différences n'ont pas été assez marquées pour se refléter sur le comportement opérationnel. En d'autres termes, les conditions de l'expérimentation conduite réelle sont considérées comme présentant un niveau d'acceptabilité usager suffisant.

Cette série d'expérimentations ne comprend pas d'étude de visibilité de l'alerte danger par émission lumineuse en cas de faible visibilité ni le comportement opérationnel des conducteurs lors de l'essai en l'absence d'explication préalable sur l'objet d'une telle alerte danger. A l'avenir, on collectera des données expérimentales sur ces éléments en matière de méthodes d'émission lumineuse, de couleur de la source d'émission lumineuse, de position d'installation, d'intervalle et autres éléments des délinéateurs qui sont très bien acceptés par les usagers, afin de mettre au point les spécifications fondamentales applicables au système d'aide à la conduite en région froide.

Remerciements

M. Yuji Ota et M. Toshiyuki Naito de Docon Co., Ltd. ont apporté une aide précieuse pour l'expérimentation CG. M. Kazuhiro Tanji et M. Yasuhiro Nagata de l'office régional du Hokkaido de l'Association Météorologique du Japon nous ont aidé lors de l'expérimentation sur la conduite. M. Manabu Kaneko du CERI a aussi coopéré à ces expérimentations et M. Tetsuji Hiorse de l'institut a construit un système pilote pour l'expérience de conduite. Les mots ne suffisent pas à exprimer nos remerciements pour leur coopération inappréciable.

Références

- Yasuhiko Kajiyama *et al.* (1995), Development of Intelligent Delineator Systems, Proceedings of the 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems, Yokohama.
- Manabu Kaneko, Yasuhiko Kajiyama, Masaru Matsuzawa and Nobuo Konagai (2000), Millimeter Wave Radar Technology-Based Intelligent Winter Highway Systems, Proc. TRB 5th International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Roanoke.
- Masaru Matsuzawa, Manabu Kaneko and Yasuhiko Kajiyama (2001), User Acceptability of the Safe-Driving Support System for Winter Roads, Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Transport Systems, Sydney.