

REDUCTION DE LA VITESSE AUX CHANTIERS ROUTIERS MOBILES : UTILISATION DU RADAR MONTE SUR VEHICULE POUR EVALUER L'IMPACT DES PANNEAUX A MESSAGE VARIABLE

F. Friberg, M. Persson, J. Granlund & Å. Johansson
Administration suédoise des routes
vagverket@vv.se

ABREGE/RESUME : REDUCTION DE LA VITESSE AUX CHANTIERS ROUTIERS MOBILES : UTILISATION DU RADAR MONTE SUR VEHICULE POUR EVALUER L'IMPACT DES PANNEAUX A MESSAGE VARIABLE

Certains des accidents les plus graves survenus sur les chantiers routiers en Suède ont impliqué des convois de véhicules travaillant au marquage au sol. Les vitesses de circulation élevées à proximité de ces chantiers routiers sont reconnues en être fréquemment la cause. Cette étude a été entreprise pour évaluer l'impact qu'avait sur la réduction de la vitesse de circulation un ensemble de panneaux de signalisation à messages variables (PMV), montés sur un convoi de véhicules de marquage au sol roulant à faible allure. Les PMV affichaient la vitesse maximale recommandée dans la zone. Les résultats ont été évalués à l'aide de nouveaux radars compacts portables qui contrôlaient la vitesse des véhicules dépassant et croisant le convoi de véhicules de marquage.

Les résultats enregistrés ont montré que, quand le PMV n'était pas activé, les vitesses moyennes et les vitesses maximales étaient très élevées, impliquant de la sorte un risque inacceptable. Par contre, quand le PVM était activé, la vitesse moyenne était réduite de 22 km/h sur les routes à large voie. De même, la vitesse moyenne des dix véhicules roulant le plus vite était réduite de 16 km/h. Enfin, le pourcentage de véhicules circulant à des vitesses extrêmement élevées/dangereuses baissait de 62 % à 12 %, ce qui correspond à une réduction relative de 81 %. En résultat, la législation suédoise est en train d'être revue dans le but de légaliser l'utilisation de ce type de PMV sur les véhicules de chantier routiers mobiles.

1. INTRODUCTION

Les décès et les blessures graves causés par les accidents de la route sont un problème de santé publique majeur dans le monde entier. Environ 450 personnes sont tuées en Suède chaque année et des milliers d'autres souffrent d'infirmités à vie en résultat des accidents survenus dans les rues et sur les routes suédoises. La décision prise par le Parlement suédois d'adopter la campagne « Vision Zéro » implique qu'à terme aucune personne ne devrait être tuée ou blessée grièvement sur les routes en Suède. Le premier des trois domaines problématiques identifiés par le programme « Vision Zéro » concerne une meilleure adaptation de la vitesse, notamment aux abords des chantiers de travaux routiers. Plusieurs accidents graves sont survenus sur des chantiers routiers en Suède dans les dernières années.

Aujourd'hui, un grand nombre des agents employés à l'entretien des routes ressentent une sensation d'insécurité et d'anxiété dans leur travail. Plusieurs études suédoises basées sur l'analyse de questionnaires remplis par des agents employés à l'entretien des routes ont révélé qu'ils ressentaient une sensation d'anxiété et d'insécurité dans leur travail et que cette sensation était causée par des facteurs liés à la circulation, en particulier à la vitesse de la circulation passant à proximité du chantier, plutôt qu'à d'autres facteurs liés au travail proprement dit [1]. Plusieurs études internationales analysant des

données liées aux accidents ont démontré que les vitesses élevées étaient responsables d'un grand pourcentage de tous les accidents survenus sur des chantiers routiers [2]. En même temps, d'autres études ont démontré que les tronçons de routes sur lesquels des chantiers de travaux routiers sont en cours sont plus exposés aux accidents que les tronçons sans chantiers routiers [3]. En d'autres termes, l'anxiété ressentie par les agents travaillant à l'entretien des routes est tout à fait légitime.

2007 a été désignée par l'administration suédoise des routes « Année de la sécurité routière ». Une vaste gamme d'activités a été prévue pour traiter les problèmes liés à la vitesse de la circulation routière, notamment aux abords des chantiers routiers. L'environnement de travail sur les chantiers routiers a été désigné de façon répétée dans l'industrie comme un domaine dans lequel une amélioration majeure est nécessaire.

Les chantiers routiers produisent des situations de circulation inhabituelles auxquelles de nombreux conducteurs ne s'attendent pas. Les dispositions contradictoires et parfois inadaptées prises pour la gestion de la circulation dans ces conditions peuvent parfois prêter à confusion, conduisant certains usagers à commettre des erreurs de conduite. Un grand pourcentage d'automobilistes passe les chantiers routiers à des vitesses qui sont trop élevées compte tenu des circonstances, et qui dépassent souvent la limitation de vitesse [4]. Parfois, les conducteurs ne sont pas conscients de la vitesse à laquelle ils roulent jusqu'au moment où ils sont confrontés à une situation totalement inattendue (comme un chantier routier) et réagissent avec un comportement précipité et irréfléchi. En même temps, de nombreux automobilistes s'estiment être des conducteurs responsables et capables et sont confiants dans leur aptitude à conduire à la vitesse appropriée et à prendre les décisions correctes [5,6].

Des rapports suédois publiés au début des années 2000 indiquaient que les agents employés à l'entretien des routes étaient de plus en plus anxieux. Bien qu'aucune étude approfondie des vitesses de circulation aux abords des chantiers routiers n'ait été entreprise à l'époque (ni depuis) il est estimé que l'anxiété croissante de ce personnel pourrait être liée au rythme de plus en plus agressif de la circulation routière [7,8].

D'un point de vue international, les études sur la sécurité liées aux chantiers routiers conduites dans de nombreux pays se limitent hélas à citer des études antérieures. En outre, les projets de développement dans ce domaine sont souvent relégués au rang secondaire de « matériau de travail » ou « d'expérience pratique » – et ne sont jamais publiés sous la forme de rapports scientifiques. Cela s'applique notamment à la mise en œuvre des nouvelles technologies destinées à renforcer la sécurité, comme les panneaux de signalisation à messages variables et les systèmes d'information qui peuvent être adaptés aux conditions prévalentes. Rares sont les descriptions approfondies couvrant les chantiers routiers, les vitesses de circulation et la sécurité routière. Pour récapituler, très peu d'expériences sont partagées et échangées entre pays.

1.1. Le projet « Sécurisation des chantiers routiers » et les chantiers routiers mobiles

Comme cela a été mentionné dans ce qui précède, des accidents graves surviennent sur les chantiers routiers chaque année en Suède. Certains des plus graves ont impliqué des convois de camions travaillant au marquage au sol [9-12]. Les vitesses de circulation élevées à proximité de ces chantiers routiers sont reconnues en être fréquemment la cause. De nombreuses études ont été réalisées sur l'impact des mesures de réduction de la vitesse de circulation en général [13-27]. Mais alors que certaines de ces études ont porté sur les chantiers routiers fixes, virtuellement aucune étude n'a été consacrée aux chantiers intermittents (caractérisés par de courtes périodes de travaux « fixes » effectués

en cycles « stop-and-go ») ou aux chantiers mobiles, pour la simple raison que de telles études sont extrêmement compliquées à réaliser en pratique.

Le défi posé par l'examen des vitesses de circulation à proximité de véhicules de voirie a été pris en compte dans une étude visant à évaluer l'impact qu'avait sur la réduction de vitesse un ensemble de panneaux de signalisation à messages variables (PMV) montés sur un convoi de véhicules de marquage au sol roulant à faible allure. Dans le cadre de la campagne « Chasse aux idées » dirigée par l'administration suédoise des routes, certaines propositions émises recommandaient le montage sur ces véhicules de chantier d'un panneau de signalisation affichant la vitesse limite à respecter.

La campagne intitulée « Chasse aux idées » conduite par l'administration suédoise des routes en 2002-2004 avait pour objet de recueillir auprès du personnel, des idées quant à la façon d'améliorer la sécurité sur les chantiers routiers. Plus de 130 propositions ont été soumises, dont les meilleures ont été incorporées dans certaines études conduites dans le cadre du projet de « Sécurisation des chantiers routiers » [28]. Ce projet a été financé par l'administration suédoise des routes et mené à bien par Vägverket Produktion, travaillant en collaboration avec les plus grandes organisations syndicales suédoises (SACO, SEKO et TCO). D'autre part, le projet a été doté d'un comité directeur constitué de personnalités éminentes et d'un groupe de référence constitué d'experts dans le domaine de la sécurité routière.

Le PMV affichait la vitesse maximum recommandée dans toute la zone de chantier. Les résultats ont été évalués à l'aide de nouveaux radars compacts portables qui enregistraient la vitesse des véhicules dépassant ou croisant le convoi. L'objet de cette étude était d'évaluer l'impact qu'avait une signalisation montée sur un véhicule de marquage routier, affichant la vitesse recommandée.

2. METHODE

2.1. Mise en œuvre d'essais sur le terrain

Pour les essais sur le terrain, les opérations de marquage au sol étaient effectuées normalement. Sur les routes autres que les autoroutes en Suède, une file de véhicules de marquage au sol comprend normalement trois véhicules : un véhicule de tête faisant face au trafic venant en sens inverse, un véhicule de marquage au sol, en sandwich au milieu du convoi, et une véhicule suiveur équipé d'un atténuateur d'impact, fermant la marche. Pour des raisons évidentes, il n'y a pas de véhicule de tête dans les convois de véhicules de marquage utilisés sur les autoroutes ou autres axes routiers dans lesquels il n'y a pas de circulation venant en sens inverse. D'un autre côté sur les autoroutes un véhicule additionnel est nécessaire en queue de convoi pour signaler le changement de voie aux usagers et leur faire éviter le chantier routier.

Tous les véhicules du convoi sont équipés de panneaux de signalisation affichant la vitesse recommandée, comme cela est représenté dans les Tableaux 1 et 2.

Pour mesurer l'impact de ces panneaux de signalisation à LED (numériques), le convoi de véhicules simulait des opérations de marquage au sol. L'essai sur le terrain a été reproduit sur plusieurs routes nationales suédoises avec les PMV affichant « 30 km/h ». Des vitesses de référence ont également été obtenues en effectuant des passes d'essai durant lesquelles le PMV était désactivé (éteint). Toutes les données de vitesse ont été étalonnées pour prendre en compte la vitesse des radars monté sur les véhicules du convoi.

Tableau 1 - Panneau de signalisation utilisé lors d'essais sur le terrain conduits sur des routes avec circulation venant dans l'autre sens (*pas sur autoroutes*). Le tableau se lit de la gauche vers la droite et indique le véhicule en question et la direction du trafic par rapport aux véhicules du convoi.

Direction du trafic	Véhicule de tête	Véhicule du convoi	
		Véhicule de marquage au sol	Véhicule avec atténuateur d'impact
Venant dans l'autre sens	50	30	X
Dépassant	X	30	50

Tableau 2 - Panneau de signalisation utilisé lors d'essais sur le terrain sur des routes sans circulation venant dans l'autre sens (*autoroutes*). Le tableau se lit de la gauche vers la droite et indique le véhicule en question et la direction du trafic par rapport aux véhicules du convoi.

Direction du trafic	Véhicule avec indication de changement de voie	Véhicule du convoi		
		Véhicule avec atténuateur d'impact	Véhicule de milieu avec atténuateur d'impact	Véhicule de marquage au sol
Dépassant	-----	50	30	30

Les essais sur le terrain avec et sans panneaux de signalisation à LED ont été réalisés sur 5 routes suédoises différentes situées à 100-150 km à l'ouest/au nord-ouest de Stockholm : E18 (Köping-Arboga), E20 (Kvicksund-Arboga), Nationale rv 53 (E18-Kvicksund), Nationale rv 67 (Västerås-Näås-Sala, de jour et dans l'obscurité) et Nationale rv 70 (Sala-Avesta). Toutes les routes, à l'exception de la route européenne E18 entre Köping et Arboga, étaient à une voie dans chaque sens. La largeur de chaque file était d'environ 3,5 à 4 mètres, avec un accotement de 0,5 à 3 mètres.

Un équipement radar type SR3+ a été utilisé pour contrôler les variables telles que vitesse, type de véhicule, longueur, durée, etc., pour les véhicules croisant ou dépassant le convoi.

2.2. Analyse statistique

Parallèlement à cette étude d'évaluation particulière, une analyse statistique multivariées des données a été réalisée pour déterminer si ces panneaux de signalisation avaient un effet quelconque sur la réduction de la vitesse. Trois variables déterminantes des réponses ont été identifiées : la vitesse moyenne, la vitesse moyenne des dix véhicules roulant le plus vite et le pourcentage de véhicules roulant à des vitesses dangereuses (> 70 km/h). Les vitesses ont été contrôlées en position adjacente aux différents véhicules du convoi et les catégories explicatives suivantes ont été déterminées : identité de la route ; largeur de la route en deux catégories (< 10 m & > 10 m) ; état de la signalisation (avec ou sans panneau à LED) ; direction (croisement ou dépassement) ; position dans le convoi (tête, milieu & queue). La position a été codifiée par rapport aux véhicules dépassant ou croisant. En d'autres termes, la position « premier » indiquait un véhicule venant en sens inverse croisant le véhicule de tête du convoi, et un véhicule dépassant le véhicule de queue du convoi, dans le cas des véhicules dépassant.

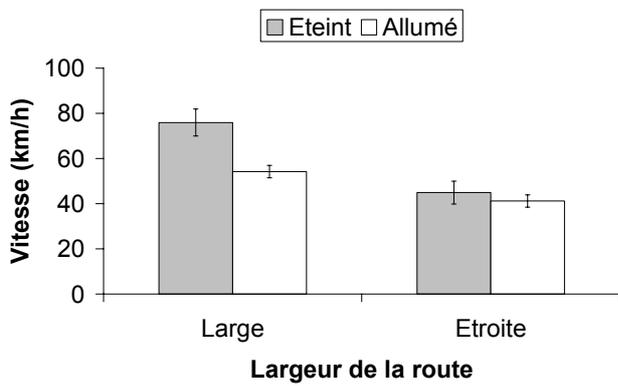


Figure 1 - Vitesse médiane des véhicules dépassant et croisant un convoi de véhicules de marquage par rapport à la largeur de la route et à la présence de panneaux activés (moyenne rétrotransformée \pm Erreur Standard). Les routes sont classées en tant qu'étroites <10 m et larges >10 m.

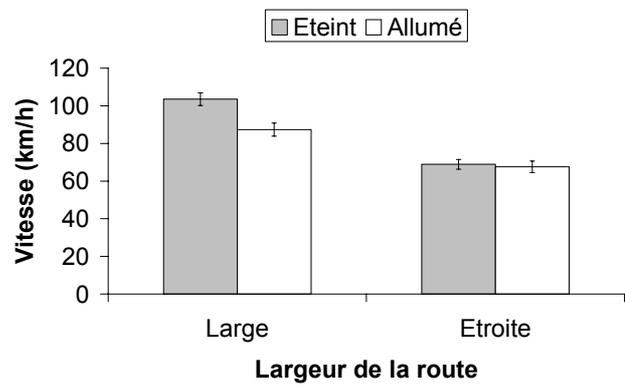


Figure 2 - Vitesse moyenne des 10 véhicules roulant le plus vite dépassant et croisant un convoi de véhicules de marquage par rapport à la largeur de la route et à la présence de panneaux activés (moyenne rétrotransformée \pm Erreur Standard). Les routes sont classées en tant qu'étroites <10 m et larges >10 m.

Sur la base de ces catégories, les réponses ont été évaluées en utilisant un modèle linéaire à effet mixte avec les paramètres « position », « direction » et « état » réunis sous la bannière « route » dans le programme statistique S-Plus. Tous les termes d'interaction non significatifs ($p > 0,05$) ont été ensuite exclus du modèle dans un but de simplification. Dans le modèle définitif, les résultats résiduels ont été contrôlés mais ils ont montré un bon comportement dans tous les cas.

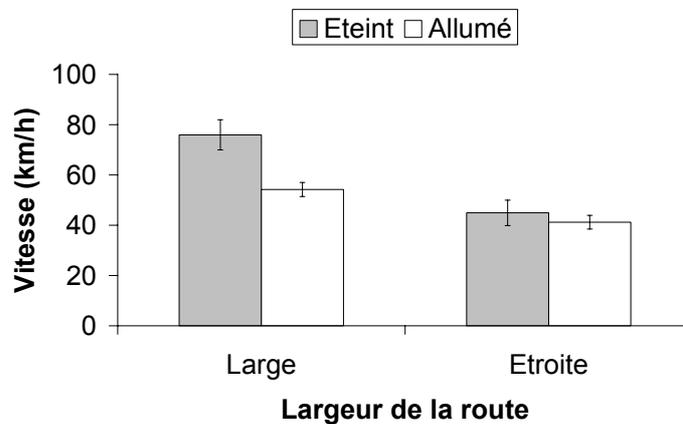


Figure 3 - Pourcentage de véhicules roulant à une vitesse dangereuse (>70km/h) dépassant et croisant un convoi de véhicules de marquage par rapport à la largeur de la route et à la présence de panneaux activés (moyenne rétrotransformée \pm Erreur Standard). Les routes sont classés en tant qu'étroites <10 m et larges >10 m.

Bien qu'il y ait eu un nombre important d'effets interactifs significatifs pour chaque variable de réponse, tout effet qui n'incluait pas « état » et « largeur de la route » a été ignoré, étant jugé sans rapport avec la question concernée. Pour chaque variable de réponse il y avait un effet interactif significatif de l'« état » et de la « largeur de la route » ($p < 0,05$) mais

pas d'interaction significative d'un ordre supérieur pour une combinaison de ces variables. Par conséquent, il a suffi de se concentrer sur ces deux variables, ce qui a rendu l'interprétation plutôt simple et plus directe.

3. RESULTATS

La présence des panneaux à LED réduisait la vitesse médiane de 22 km/h sur les routes larges mais de seulement 4 km/h sur les routes étroites (Figure 1). De même, la vitesse moyenne des 10 véhicules roulant le plus vite était réduite de 16 km/h sur les routes larges mais de seulement 1 km/h sur les routes étroites (Figure 2). Enfin, le pourcentage de véhicules roulant à plus de 70 km/h était réduit de 81 % sur les routes larges et de 32 % seulement sur les routes étroites (Figure 3). En conséquence, seulement 3 % des véhicules sur les routes étroites et 12 % sur les routes larges roulaient à des vitesses dangereuses quand des panneaux à LED étaient utilisés, alors que les chiffres correspondants trouvés sans ces panneaux étaient de 5 % et 62 % respectivement.

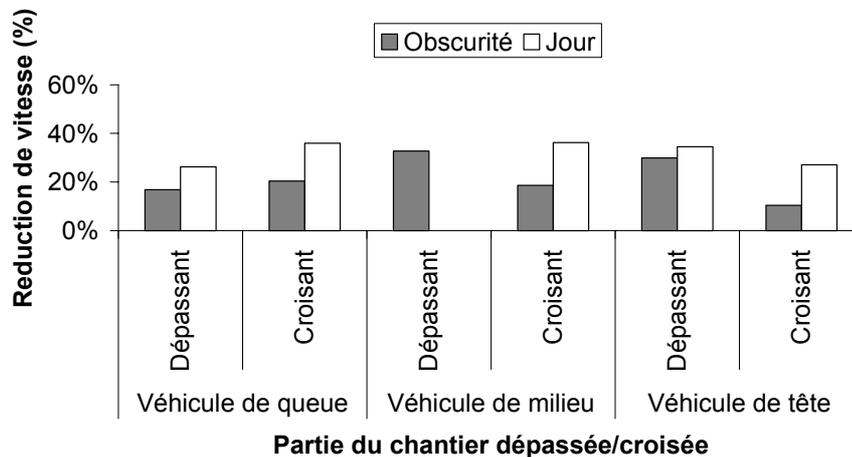


Figure 4 - Convoi de véhicules de marquage équipés de panneaux dans l'obscurité et de jour sur Nationale 67 (Västerås-Sala). Comparaison entre obscurité et jour sur la Nationale 67. Noter qu'aucune donnée n'a été collectée pour les véhicules passant le véhicule de milieu, de jour.

Une comparaison de l'impact qu'avaient les panneaux de signalisation sur la réduction de vitesse durant les heures d'obscurité et de jour sur la Nationale 67 indique que le degré de lumière est un facteur qui a un effet significatif sur l'impact qu'ont les panneaux de signalisation à LED sur la réduction de la vitesse (Figure 4) : la réduction de vitesse est nettement plus évidente de jour que de nuit, ce qui est avant tout dû aux vitesses de conduite généralement plus lentes la nuit, sans panneaux de signalisation.

Les résultats de la seule autoroute étudiée dans le cadre de l'essai sur le terrain – l'autoroute européenne E18 entre Köping et Arboga – ont montré une réduction évidente de la vitesse moyenne quand les panneaux étaient activés : 14 km/h (véhicule avec atténuateur d'impact), 24 km/h (véhicule de milieu) et 21 km/h (véhicule de marquage au sol). Le pourcentage des véhicules roulant à plus de 75 km/h lors du dépassement des véhicules de marquage au sol a baissé du niveau de 66 % quand il n'y avait pas de panneaux de signalisation (la vitesse maximale enregistrée a été 133 km/h) à moins de

1 % quand il y avait un panneau de signalisation activé (la vitesse maximale enregistrée a été 109 km/h).

Ces résultats indiquent que l'impact le plus fort des panneaux de signalisation est au niveau du véhicule de marquage au sol (véhicule de milieu) et au bout du chantier mobile (qu'il s'agisse du véhicule de queue avec atténuateur d'impact lors du croisement ou du véhicule de tête lors du dépassement) plutôt qu'au début du chantier mobile (Figures 5-6).

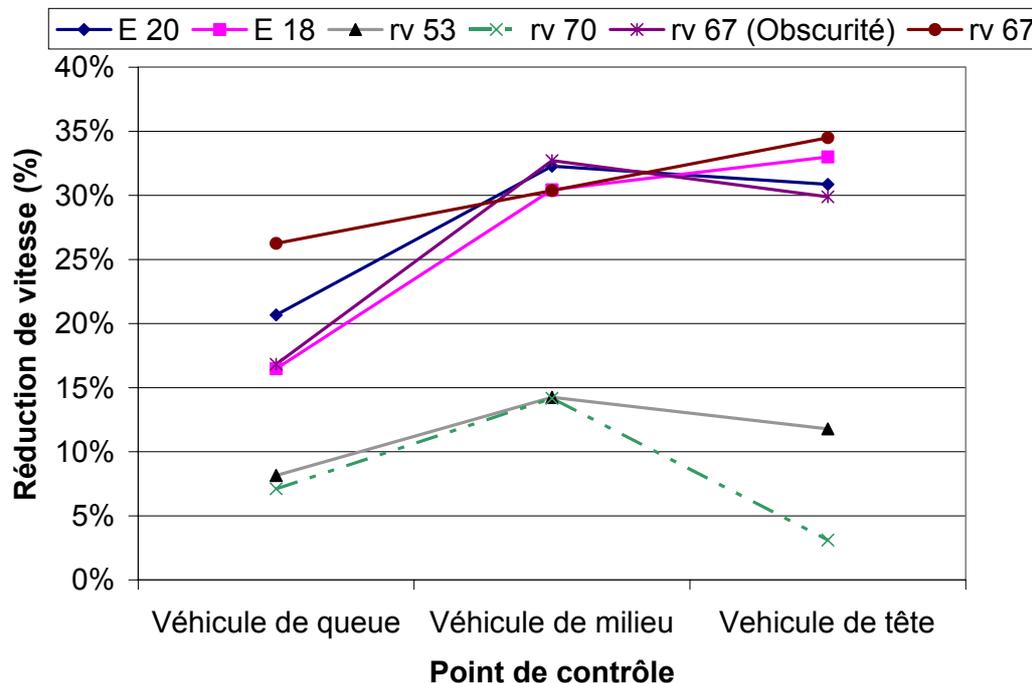
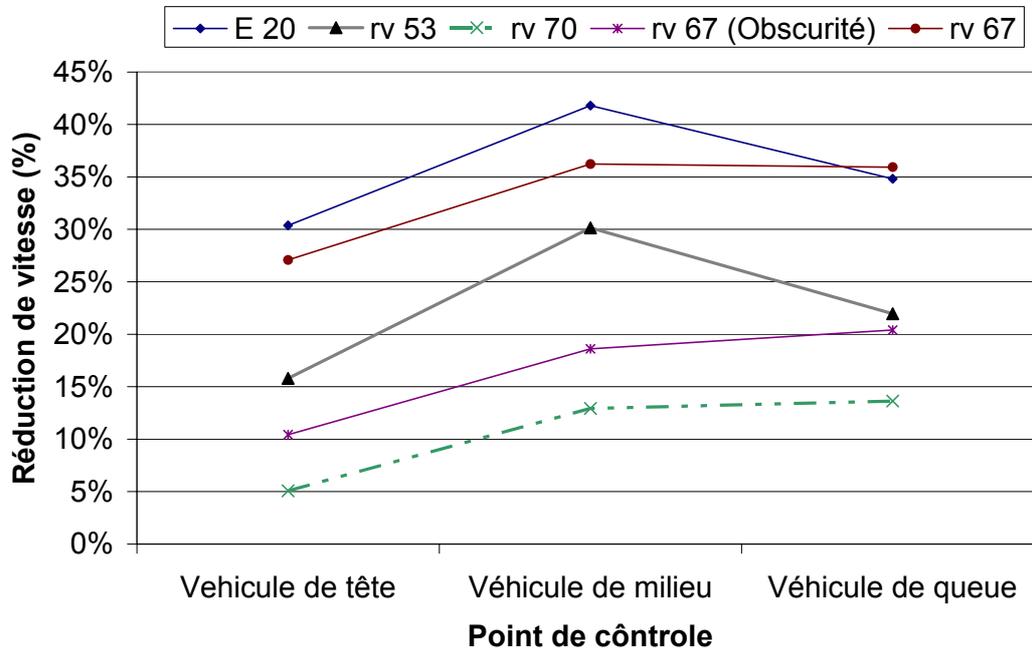
Dans tous les essais sur le terrain, et dans le cas de la circulation croisant et dépassant le convoi, la réduction de vitesse exprimée en tant que pourcentage était plus forte au niveau du véhicule de marquage qu'au niveau du véhicule avec atténuateur d'impact.

4. DISCUSSION

4.1. Interprétation des résultats

L'évaluation de la méthode utilisant une signalisation numérique montée sur véhicule a montré plusieurs effets significatifs réduisant la vitesse de la circulation. Une vitesse moyenne nettement plus lente de la circulation passant le chantier a été enregistrée quand on utilisait des panneaux de signalisation affichant la vitesse recommandée. La différence quand on utilisait et quand on n'utilisait pas de signalisation a été particulièrement évidente dans le cas des véhicules qui roulaient le plus vite. Or, les rapports concernant les analyses des accidents liés aux chantiers de marquage des routes et autres accidents ont montré que les véhicules roulant le plus vite sont fortement représentés dans les statistiques d'accidents.

En outre, les agents employés à l'entretien des routes ont réagi très positivement à cette méthode, déclarant qu'ils se sentaient plus en sécurité et qu'ils avaient l'impression que la circulation avait ralenti (selon le point de vue personnel de Gunnar Larsson). Les équipes de marquage des routes ont trouvé les panneaux de signalisation faciles à utiliser et ils ont



Figures 5-6 - Réduction de vitesse en pourcentage au passage des différents véhicules de la caravane de marquage au sol. Croisement (5 ; en haut) et dépassement (6 ; au-dessous).

déclaré que le temps passé à les manipuler était négligeable. Un des résultats les plus positifs a été que les plus grandes réductions de vitesse ont été observées au niveau du véhicule de marquage au sol, où les agents de service sont le plus vulnérables.

Les panneaux de signalisation sont maintenant utilisés depuis un an sur de nombreux chantiers routiers après les essais sur le terrain. L'impact le plus grand a été observé sur les routes de plus de 10 mètres de large. Sur la base des résultats de cette étude, il a été proposé que des panneaux de signalisation à LED montés sur véhicules, affichant la vitesse recommandée, devraient être utilisés durant toutes les opérations de marquage au sol sur les routes de plus de dix mètres de large. Par ailleurs, les résultats indiquent que l'impact du panneau de signalisation sur la vitesse de circulation dépend des conditions d'éclairage. Une explication probable pourrait être que les usagers conduisent généralement moins vite dans l'obscurité et que la réduction de vitesse observée quand les panneaux de signalisation sont activés dans ces conditions est par conséquent moins évidente.



Figure 7 - Exemple de PMV. Les pixels du panneau peuvent être produits en utilisant la fibre optique ou des diodes électroluminescentes. Ce panneau à LED a été utilisé dans le cadre du projet, par exemple, pour évaluer l'impact qu'a un PMV affichant la vitesse recommandée.

4.2. Technologie du radar pour contrôler la circulation passant les chantiers mobiles

Comme cela a été mentionné précédemment, seules quelques études ont analysé l'utilisation des équipements de réduction de la vitesse de circulation au niveau des chantiers routiers fixes. Pour des raisons pratiques, il est beaucoup plus compliqué d'étudier les effets des équipements de réduction de la vitesse de circulation sur des chantiers routiers fixes, mais de courte durée et encore plus sur des chantiers routiers mobiles comme les opérations de marquage des routes. Cette étude montre que l'équipement radar relativement nouveau et modérément complexe, par exemple du type SR3+, pourrait être utilisé à l'avenir pour analyser les flux de circulation dépassant et croisant les véhicules de marquage routier en mouvement. La méthode de mesure basée sur ce nouveau radar peut être recommandée pour l'utilisation dans des études similaires, comme les évaluations de l'impact des divers panneaux de signalisation utilisés sur les véhicules de chantiers routiers (feux clignotants, symboles, couleurs, fluorescence, rétro-réflexion, etc.).

4.3. Choix de limitation de vitesse/vitesse recommandée

Les limitations de vitesse doivent être réalistes, justifiables et modifiables. Si la limitation de vitesse est perçue comme étant injustifiée, il y a un plus grand risque qu'elle soit ignorée. D'autre part, elle ne devrait pas être trop basse pour ne pas créer de bouchons. Une bonne façon d'obtenir un flux régulier du trafic serait de signaler la présence du chantier bien avant la zone de limitation, et de réduire progressivement la vitesse limite indiquée (70, puis 50, puis 30 km/h), comme cela fut le cas dans cette étude.

Il convient de mentionner que les convois de marquage des routes n'ont pas le même aspect dans les différents pays et même dans différentes régions de Suède. La raison pour laquelle il est souhaitable de limiter les vitesses de circulation dépassant ou croisant les convois de marquage en Suède est que les véhicules de marquage sont de petites dimensions et que leurs conducteurs sont particulièrement exposés. On ne connaît toujours pas avec certitude la limitation de vitesse réelle qui devrait être appliquée aux convois de marquage de route décrits dans cet article.

L'administration suédoise de l'environnement du travail [29] a fixé à 30 km/h la « vitesse maximum réelle » (noter la formule) recommandée pour les véhicules au passage de chantiers de construction et de génie civil sur lesquels travaillent des agents en situation vulnérable, dans le cas où la distance latérale est inférieure à 2,5 mètres. Par distance latérale on entend la distance entre les agents et le bord de la voie de circulation la plus proche. Dans la même publication, il est stipulé qu'une limitation à 50 km/h est applicable quand cette distance est supérieure à 2,5 mètres. Enfin, une limitation à 70 km/h est applicable pour les chantiers dans lesquels sont utilisées des glissières de sécurité, à condition que celles-ci soient conformes à la norme applicable aux glissières de sécurité de classe T2 (SS-EN 1317-1 et 2). Ces limitations de vitesse représentent l'interprétation,

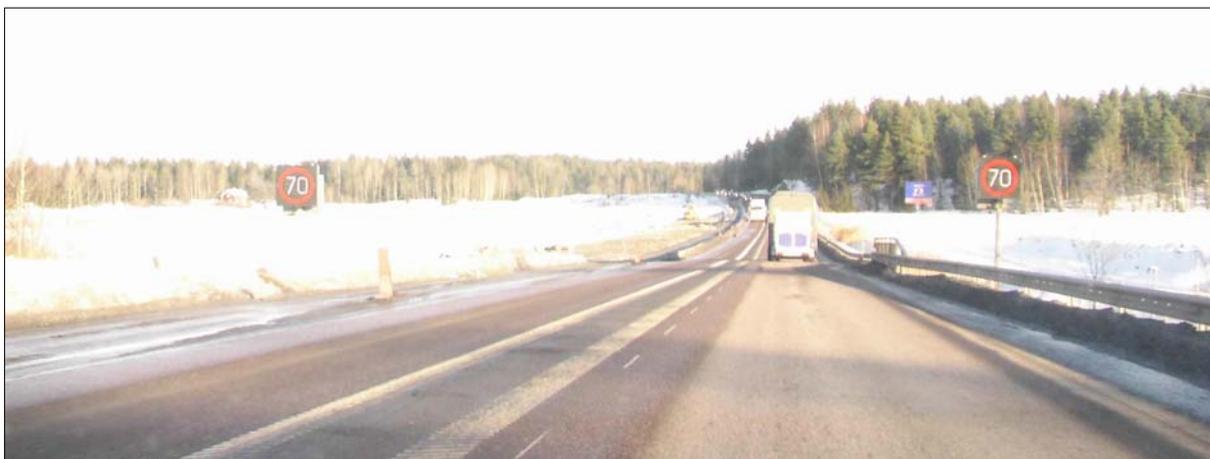


Figure 8 - Panneau à LED durant une journée d'hiver ensoleillée avec lumière latérale En Suède, les panneaux de limitation de vitesse ordinaires ont été entièrement remplacés par des panneaux numériques télécommandés sur certains chantiers routiers. Il convient de noter la bordure rouge visible sur le panneau, qui indique que cela est plus qu'une recommandation. Aucune évaluation comparant les panneaux traditionnels et numériques n'a été menée pour évaluer la compréhension du message par les usagers et l'impact sur la vitesse. Certains pensent que les panneaux numériques peuvent être plus difficiles à discerner que les panneaux ordinaires. Travaux de Vägverket Produktion à Västerås-Köping, février 2007.

par l'administration suédoise de l'environnement du travail, de son propre code applicable aux chantiers de construction et de génie civil (AFS 1999:3) [30]. Il n'est pas dit clairement à quel point elle considère que les conducteurs de véhicules de marquage de route sont « vulnérables ».

En Suède on monte de plus en plus couramment l'équipement de marquage de route sur des véhicules de plus grandes dimensions. Cela peut être une façon de contourner le problème et de tolérer des vitesses plus élevées pour la circulation dépassant et croisant les chantiers de marquage des routes.

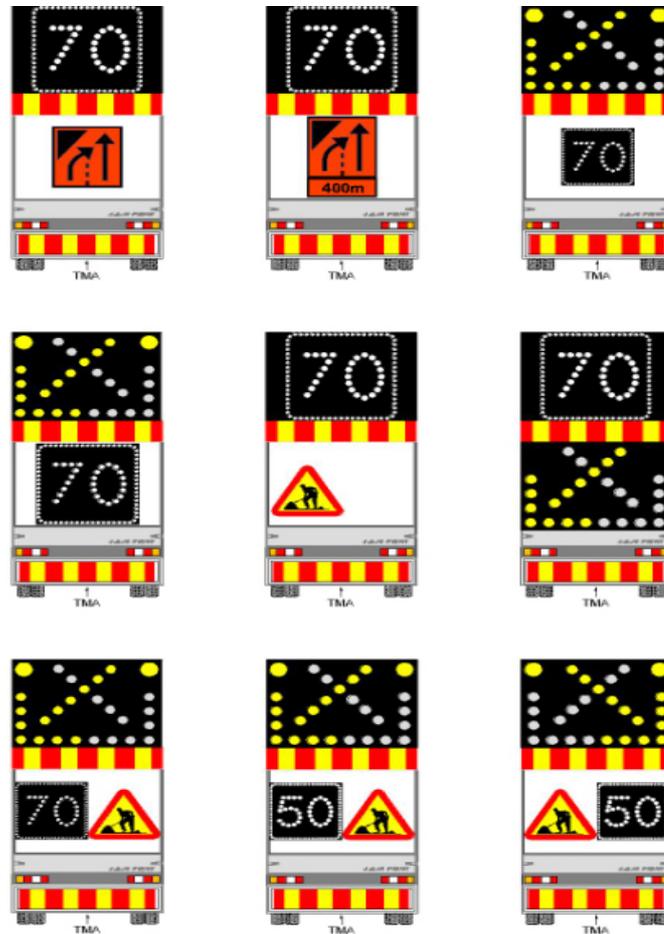


Figure 9 - Panneaux de signalisation numériques affichant la vitesse recommandée. Ces panneaux de signalisation font l'objet d'un projet de loi qui devrait être passé en mars 2007 et qui devrait avoir force de loi en juin 2007. Il convient de noter l'absence de bordure rouge autour des chiffres de limitation de vitesse. Une bordure rouge avait donné à ces panneaux de signalisation un statut égal à celui des panneaux de limitation de vitesse fixes habituels. Techniquement, il est possible de contrôler les vitesses et d'enregistrer les excès de vitesse des véhicules passant le chantier, mais pour des raisons liées au droit suédois, les panneaux ne peuvent avoir qu'une valeur de recommandation. Une note explicative sera ajoutée dans le Code de l'administration suédoise des routes. La proposition peut être considérée comme un résultat des constatations de cette étude.

4.4. Nouveaux règlements applicables à l'affichage de vitesse recommandé sur des véhicules en mouvement

En résultat de cette étude, la législation suédoise est en train d'être revue dans le but de légaliser l'utilisation de ce type de PMV sur les véhicules de chantiers routiers mobiles (Figure 9-10). Bien qu'il existe actuellement un obstacle juridique à l'utilisation de



Figure 10 - Panneaux (numériques) à LED montés sur camion, affichant la vitesse recommandée durant les opérations de marquage au sol. Enköping, 50 km au nord-ouest de Stockholm, 2005. Noter l'équipement radar blanc (type SR3+) monté sur le véhicule.

panneaux de limitation de vitesse de type mobile ayant une valeur contraignante, les panneaux de signalisation numériques montés sur des véhicules en mouvement affichant une vitesse recommandée sont inclus dans une proposition de modification de l'ordonnance applicable aux panneaux de signalisation suédois qui devrait avoir force de loi d'ici juin 2007, en résultat direct des constatations de l'étude menée dans le cadre de ce projet.

Techniquement, il est possible de mesurer les vitesses et d'enregistrer les excès de vitesse des véhicules passant le chantier, mais pour des raisons liées au droit suédois, les signaux ne peuvent avoir qu'une valeur de recommandation. Une note explicative sera ajoutée dans le Code de l'administration suédoise des routes.

4.5. Problèmes et suggestions envisageables pour de futures initiatives

Des discussions ont traité des obstacles possibles qui pourraient s'opposer à la mise en œuvre de ces méthodes. Il s'est avéré qu'il pourrait y avoir un problème pour déterminer qui doit assumer la responsabilité de l'équipement de réduction de la vitesse de circulation. Les entreprises privées pensent que certaines des méthodes sont coûteuses et que par conséquent l'administration des routes devrait en assumer la propriété et l'exploitation. La taille des panneaux de signalisation à LED (numériques) montés sur les véhicules pour afficher la vitesse recommandée durant les opérations de marquage des routes a également été identifiée comme un problème potentiel. En cas d'utilisation avec combinée d'autres panneaux de signalisations, il n'y a pas toujours assez de place disponible sur le véhicule.

Il semble que très peu de travaux de recherche ont été réalisés dans le domaine des panneaux de signalisation à messages variables (PMV). En Suède, ces panneaux sont utilisés sous la forme de panneaux de signalisation routière à LED pour afficher des vitesses recommandées (chiffres seulement) et en tant que panneaux de limitation de vitesse normaux avec, dans ce cas, une bordure rouge. Aucune étude n'a été entreprise pour évaluer si les usagers sont conscients de la différence qu'il y a entre les panneaux avec et sans bordure rouge, tant au niveau national qu'au niveau international. En Suède, un effort considérable est entrepris pour modifier l'Ordonnance sur la signalisation routière, avec notamment une campagne d'information et de sensibilisation menée à cet effet.

Un autre sujet qui est débattu mais qui ne fait l'objet d'aucune étude est la visibilité des PMV numériques comparée à celle des panneaux de signalisation ordinaires (voir Figure 7). En Suède, il y a des chantiers routiers où les panneaux de limitation de vitesse fixes normaux ont été entièrement remplacés par des panneaux à LED, ce qui signifie qu'une évaluation serait maintenant souhaitable.

5. CONCLUSIONS

- Une vitesse moyenne nettement plus lente de la circulation passant les chantiers a été constatée quand des panneaux de signalisation étaient utilisés. La différence de vitesses enregistrée quand on utilisait et quand on n'utilisait pas de signalisation (référence) a été particulièrement évidente dans le cas des véhicules qui roulaient le plus vite.
- L'impact le plus fort est sur les routes plus larges et sur les routes où la vitesse moyenne des véhicules passant les chantiers sans signalisation supplémentaire est élevée.
- Il est proposé que l'utilisation de panneaux de signalisation supplémentaires soit rendue obligatoire à l'avenir – en particulier sur les routes ayant une largeur moyenne d'au moins 10 mètres et où la limitation de vitesse ordinaire est de façon prédominante au moins égale à 70 km/h.

6. POUR TERMINER

Certains des résultats ont été soumis dans le dossier de candidature suédois au PRIX AIPCR 2007 pour la sécurité routière.

BIBLIOGRAPHIE

1. VTI. (2001). Utvärdering av kameraövervakade vägarbetsplatser - en pilotstudie. VTI-kod: N64-2001. Författare: Bolling, Anne & Nilsson, Lena. *En suédois*.
2. Kuroda, K. & J. Inoue. (1996). Analysis on expressway work zone safety. AIPCR/PIARC. 1996. Sécurité sur les Chantiers Routiers/Safety at Roadworks. Comité AIPCR de la Gestion des Routes. PIARC Committee on Road Management pp. 59-81. ISBN: 2-84060-038-2.
3. Demirel, A. & A.P. Akgüngör. (2006). Comparison of the United States and Turkey in terms of safety considerations in work zones. pp. 163-171. Traffic and Road Safety Third International Congress. Proceedings Volume I. ISBN 9944-5023-1-6.
4. ARROWS. (1998). Road Works Zone Safety. Practical Handbok. Advanced Research on Road Work Zone Safety.
5. VTI. (2001). Utvärdering av kameraövervakade vägarbetsplatser - en pilotstudie. VTI-kod: N64-2001. Författare: Bolling, Anne & Nilsson, Lena. *En suédois*.
6. ARROWS. (1998). Road Works Zoner Safety. Practical Handbok. Advanced Research on Road Work Zone Safety.
7. SEKO. 2000. Vägarbetares situation (2000). Non publié. En suédois.
8. SEKO. 2002. Vägarbetares situation (2002). Non publié. En suédois.
9. Vägverket Produktion. Personbilsförare skadades allvarligt vid kollision med vägmarkeringsfordon (PE 50-A 2002:1378). Administration suédoise des routes. Vägverket Produktion. 2002a. *En suédois*.

10. Administration suédoise des routes. Vägverket Produktion. 2002b. Rapport om vägarbetsplatsolycka inom Vägverket Produktion. Långtradare körde på vägmarkeringsfordon (PE 50-A 2003:4442). *En suédois*.
11. Administration suédoise des routes. Vägverket Produktion. (2002c). Rapport om vägarbetsplatsolycka inom Vägverket Produktion. Lastbilschaufför omkom vid kollision med vägmarkeringsfordon. *En suédois*.
12. Arnold, E.D. (2005). "Use of Police in Work Zones on Highways in Virginia." Final Report. Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, Virginia. 2003. [En ligne] http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/04-r9.pdf. (Accédé le 6 octobre 2005).
13. Dixon, K, and Ogle, J. (2004). Evaluating Speed Reduction Strategies for Highway Work Zones, A Draft
14. Literature Review. GDOT Project 2031, GIT Project E-20-J40, mars 2004.
15. Dixon, K.K. and C. Wang. (2002). Development of Speed Reduction Strategies for Highway Work Zones. FHWA-GA-02-9810; Final Report Federal Highway Administration.
16. Garber, N. J. & S.T. Patel. (1994). Effectiveness of Changeable Message Signs in Controlling Vehicle Speeds. Report FHWA/VA-95-R4. Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, 1994.
17. Garber, NJ; Srinivasan, S. (1998). Effectiveness of Changeable Message Signs in Controlling Vehicle Speeds in Work Zones. FHWA/VTRC 98-R10; Final Report. Virginia Transportation Research Council.
18. Garber, N.J., and S.T. Patel. (1995). Control of Vehicle Speeds in Temporary Traffic Control Zones (Work Zones) Using Changeable Message Signs with Radar. Transportation Research Board, National Research Council.
19. Fontaine, M. D, and P. J Carlson. (2001). Evaluation of Speed Displays and Rumble Strips at Rural-Maintenance Work Zones. In Transport Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1745, TRB, National Research Council, Washington D.C., 2001, pp. 27-38.
20. Maze, T, Kamyab, A, and Schrock, S. (2000). Evaluation of Work Zone Speed Reduction Measures. Report Number 99-44, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University.
21. McCoy, P. T., J. A. Bonneson, and J. A. Kollbaum. (1995). Speed Reduction Effects of Speed Monitoring Displays with Radar in Work Zones in Interstate Highways. In Transportation Research Record 1509, TRB.
22. Mattox, J. H., W. A.Sarasua, J. H.Ogle, R. T.Eckenrode, & A.Dunning. (2007). Development and Evaluation of a Speed-Activated Sign to Reduce Speeds in Work Zones. TRB 86 Annual Meeting. Compendium of papers. Paper 07-0015.
23. Sorrell, M. T., Sarasua W. A., Davis W. J., Ogle J. H., Dunning A. (2007). Use of Radar Equipped Portable Changeable Message Sign to Reduce Vehicle Speed in South Carolina Work Zones. TRB 86 Annual Meeting. Compendium of papers. Paper 07-3159.
24. VTI. (2001). Utvärdering av kameraövervakade vägarbetsplatser - en pilotstudie. VTI-kod: N64-2001. Författare: Bolling, Anne & Nilsson, Lena.
25. Administration suédoise des routes. Vägverket. (2006). Delrapport för 2004-2005: Projekt Säkrare arbetsplatser. Publ. nr. 2006:20. *En suédois*.
26. Ullman, G. R. and E. R. Rose. (2005). Evaluation of dynamic speed design. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. No 1918, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C. 2005. pp 92-97.
27. Pesti, Geza, and McCoy. (2002). Long-Term Effectiveness of Speed Monitoring Displays in Work Zones on Rural Interstate Highways. Transportation Research Record; 1754: 21-32.
28. Administration suédoise des routes. Vägverket. (2006). Delrapport för 2004-2005: Projekt Säkrare arbetsplatser. Publ. nr. 2006:20. *En suédois*.
29. Arbetsmiljöverket. (2005). Passerande fordonstrafik vid bygg- och anläggningsarbete. CTB 2004/21 068. Väglednings-PM 2005. *En suédois*.
30. Arbetsmiljöverket (1999). Arbetsmiljöverkets föreskrifter för byggnads- och anläggningsarbete. AFS 1999:3. *En suédois*.