

REDUCTION DE LA VITESSE AU PASSAGE DES CHANTIERS ROUTIERS FIXES TEMPORAIRES

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

ABREGE/RESUME : REDUCTION DE LA VITESSE AU PASSAGE DES CHANTIERS ROUTIERS FIXES TEMPORAIRES

Les vitesses élevées des véhicules au passage des chantiers routiers mettent en danger les agents travaillant à l'entretien des routes et les usagers. Pour recueillir des idées auprès du personnel sur la façon d'améliorer la sécurité sur les chantiers routiers, l'administration suédoise des routes a organisé une campagne intitulée « Chasse aux idées ». Plus de 130 propositions ont été soumises, dont deux, concernant la réduction de la vitesse et la gestion de la circulation aux abords de deux types de chantiers routiers fixes ont été retenues en vue d'une évaluation. La première concernait la réduction de la vitesse au passage des chantiers routiers fixes temporaires sur les routes à une voie de circulation dans chaque direction. Une réduction de la vitesse a été observée avec toutes les méthodes évaluées. La deuxième proposition concernait la gestion de la circulation en convoi dans le cas de travaux de réparation de la glissière centrale sur des routes ayant en alternance deux voies de circulation dans un sens et une dans l'autre, appelées « routes 2+1 ». Un sondage d'opinion réalisé parallèlement à un essai de démonstration a révélé que les usagers de la route considéraient généralement que la méthode en convoi était bonne, un grand pourcentage indiquant une préférence pour cette méthode. Un essai de simulation de circulation a montré le volume maximum de circulation qui pouvait être géré de cette façon sans occasionner de délais excessivement longs aux usagers.

1. INTRODUCTION

Les chantiers routiers sont une source de danger et de nuisance pour les usagers de la route et les agents employés sur les chantiers. De graves accidents de la circulation ont lieu chaque année sur les chantiers routiers en Suède. La vitesse élevée des véhicules au passage de la zone de chantier est reconnue comme étant un facteur de risque déterminant. Plusieurs méthodes destinées à réduire la vitesse (comme la mise en place de ralentisseurs) sont disponibles depuis de nombreuses années alors que de nouvelles méthodes sont en cours de développement.

L'objet de la campagne intitulée « Chasse aux idées » conduite par l'administration suédoise des routes en 2002-2004 était 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 » [1]. 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.

Un des objectifs était de « démontrer l'efficacité de différentes méthodes de réduction de la vitesse de circulation au passage de petits chantiers routiers fixes où la limitation temporaire de vitesse était de 30 km/h ». Sur la base des idées proposées, des méthodes de réduction de la vitesse de circulation pour deux types de chantiers routiers ont été

sélectionnées en vue d'une évaluation sur le terrain : 1) la réduction de la vitesse de circulation à proximité d'un chantier routier ordinaire, fixe, temporaire, sur des routes à une voie de circulation dans chaque direction, 2) la gestion de la circulation en convoi dans le cas de travaux de réparation de la glissière centrale sur des routes ayant en alternance 2 voies de circulation dans un sens et 1 dans l'autre (appelées routes « 2+1 »).

2. REDUCTION DE LA VITESSE AU PASSAGE DE CHANTIERS ROUTIERS FIXES, TEMPORAIRES

De graves accidents de la circulation ont lieu chaque année sur les zones de chantiers routiers fixes en Suède. Les vitesses de circulation élevées au passage des chantiers routiers sont reconnues en être un facteur déterminant [2].

2.1. Contexte

Plusieurs méthodes destinées à réduire la vitesse (comme la mise en place de ralentisseurs) sont disponibles depuis longtemps et de nouvelles méthodes sont en cours de développement. Plusieurs études ont été conduites quant à l'impact général des méthodes de réduction de la vitesse de circulation (à proximité des écoles, sur la chaussée en ville, etc.) et plusieurs de ces études sont applicables aux chantiers routiers plus petits [3-15]. Il y a cependant un manque indiscutable d'études comparant les différents types d'équipement de réduction de la vitesse [16].

Sur la base des idées proposées, quatre types d'équipement ont été retenus en vue d'une évaluation :

1. un panneau de signalisation « votre vitesse », monté sur une remorque mobile pour indiquer la limitation temporaire de vitesse et la vitesse réelle du véhicule de l'utilisateur ;
2. une version escamotable des ralentisseurs traditionnels qui ne sont dans ce cas pas destinés à rester à demeure ;
3. un ralentisseur « actif », dont la hauteur dépend de la vitesse du véhicule l'approchant. Le radar et l'alimentation électrique étaient installés dans une remorque et un « tuyau flexible » de ralentisseur était placé temporairement à travers la route ;
4. un radar de contrôle de vitesse logé dans une armoire montée sur une remorque mobile.

Bien que plusieurs marques différentes de chacun de ces types d'équipements soient disponibles sur le marché, il a été décidé que chaque produit spécifique testé serait représentatif de son type. La Figure 1 montre les équipements utilisés dans cet essai : 1) Panneau d'affichage de la vitesse gr 42 ; 2) Panneau « Soyez vigilant » (*Wake up*) ; 3) Remorque de sécurité active avec panneau de signalisation flexible à prismes, type « Active Safety Roads » (ASR) ; et 4) Radar de contrôle de vitesse.

2.2. Méthodes destinées à réduire la vitesse au passage des chantiers routiers fixes

Différentes méthodes destinées à réduire la vitesse ont été évaluées dans les années 2005 et 2006, en Suède, en trois emplacements : à Fjärdhundra, 70 km au nord-ouest de Stockholm, à Fagersta, 180 km au nord-ouest de Stockholm et à Katrineholm, 100 km au sud-ouest de Stockholm. Les mêmes zones de chantiers routiers, mais sans équipement de réduction de vitesse, ont été utilisées en tant que référence.

L'équipement radar type SR3+ a été utilisé pour mesurer des variables telles que vitesse, type de véhicule, longueur, durée, etc. Tous les points d'évaluation étaient situés dans la

zone de chantier routier où la limitation de vitesse signalée était 30 km/h : le premier 100 m avant le chantier routier réel qui était situé sur un pont, le deuxième au niveau du chantier proprement dit et le troisième 100 m après le chantier. Toutes les données comparées ont été collectées du lundi au vendredi, pendant les heures ouvrables.



Figure 1 - Produits testés. Mini ralentisseur (en haut à droite), radar mobile (en bas à gauche), affichage de vitesse (en bas au centre) et mini ralentisseur actif (en bas à droite sans feux clignotants).

Pour assurer la collecte de données de bonne qualité, chaque méthode d'évaluation de la circulation a été testée pendant au moins quatre heures et préférablement pendant deux jours. Etant donné que les essais ont été effectués sur de petits chantiers routiers temporaires, il s'est avéré difficile d'appliquer et de comparer toutes les méthodes dans conditions identiques sur un chantier spécifique.

2.3. Résultats

Les résultats de Fjärdhundra (Figure 2a) montrent que toutes les méthodes évaluées ont eu un effet de réduction de la vitesse de circulation : les vitesses moyennes ainsi que les variances ont baissé par rapport à la référence (c.-à-d. moins de véhicules roulant à des vitesses extrêmement élevées). La réduction de vitesse la plus notable était au niveau du chantier lui-même où étaient utilisés des ralentisseurs passifs, ce point s'avère être le seul point de contrôle où la valeur moyenne constatée est inférieure à la limitation de vitesse à 30 km/h. Les résultats obtenus à Fjärdhundra peuvent être comparés à ceux constatés à Katrineholm (Figures 2b et 3) et à Fagersta (Figure 4), où la vitesse moyenne était généralement plus lente quand aucune méthode n'était évaluée (référence).

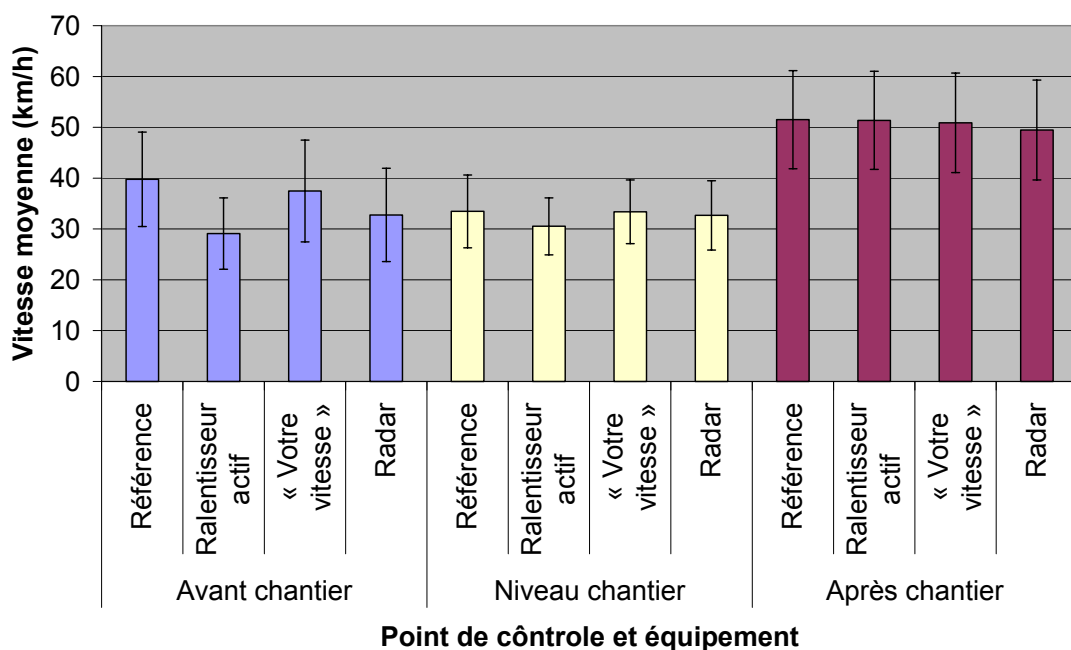
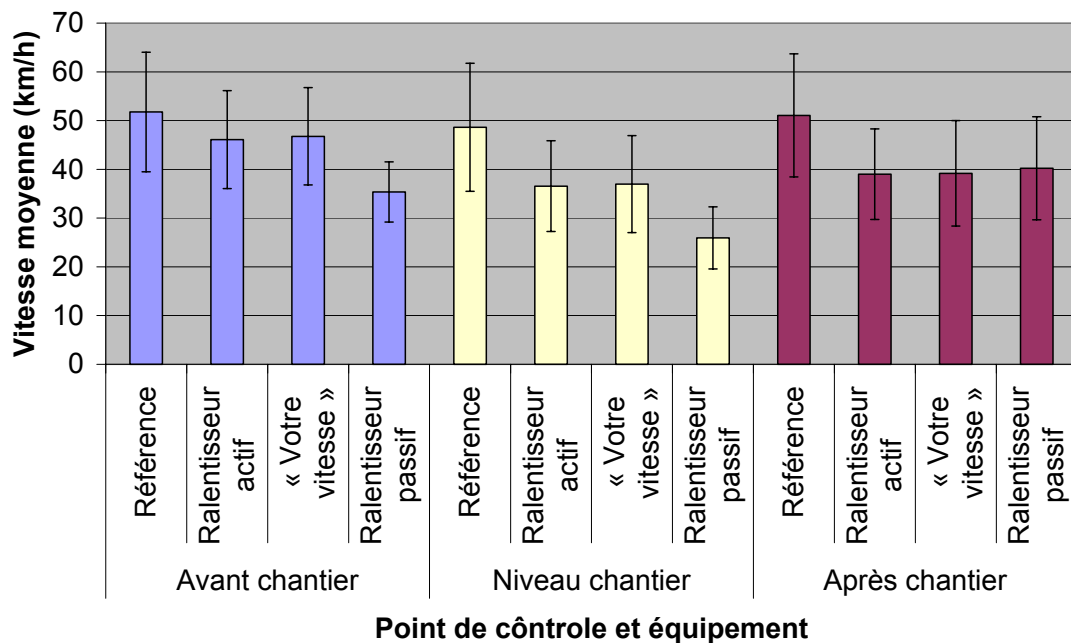


Figure 2 - Vitesse des véhicules au passage des chantiers fixes de Fjärdhundra (a) et Katrineholm (b, plus bas). Les chiffres montrent les vitesses moyennes en km/h (moyenne \pm erreur standard) des véhicules au passage de différents points de contrôle où sont utilisés différents types d'équipement de réduction de vitesse. Toutes les données ont été collectées du lundi au vendredi, de 7h00 à 15h30, et tous les points de contrôle étaient situés dans une zone à limitation de vitesse de 30 km/h, sauf le point de contrôle à 50 km/h après le chantier de Katrineholm. Des radars ont été utilisés seulement à Katrineholm et les données obtenues des ralentisseurs passifs sont seulement présentées pour Fjärdhundra (ces ralentisseurs ont été évalués dans d'autres conditions à Katrineholm). Il y a lieu de noter que la vitesse moyenne dans les situations où aucune méthode n'était évaluée (référence) a été la plus élevée au passage des chantiers routiers de Fjärdhundra, ce qui a donné un plus grand effet de réduction de la vitesse pour toutes les méthodes testées.

Un effet de réduction de la vitesse de circulation a été constaté avec toutes les méthodes évaluées : affichage de la vitesse, radars de contrôle de vitesse, ralentisseurs actifs et mini-ralentisseurs passifs, (bien que les données ne soient pas présentées dans le diagramme relatif à la dernière méthode). Cela fut également le cas à Katrineholm, bien que la différence soit dans ce cas considérablement inférieure à ce qui a été constaté à Fjärdhundra.

Les conditions ont été changées à Katrineholm durant l'essai d'évaluation sur le terrain. Le mini-ralentisseur passif a été évalué dans d'autres conditions et il est présenté séparément (Figure 3). A Katrineholm il a servi à réduire sensiblement la vitesse, au niveau du chantier ainsi qu'avant et après celui-ci. Le ralentisseur actif a ralenti la vitesse avant le chantier et au niveau du chantier. Le panneau d'affichage « votre vitesse » et les radars ont réduit la vitesse avant le chantier mais ils ont été sans effet au niveau du chantier ou après le chantier à Katrineholm.

Une réduction évidente de la vitesse a également été constatée à Fagersta (Figure 2) avec l'utilisation du panneau d'affichage « votre vitesse » et du mini-ralentisseur passif. Bien que la voie de passage relativement étroite au niveau du chantier ait produit des vitesses relativement lentes, même sans emploi d'équipements destinés à réduire la

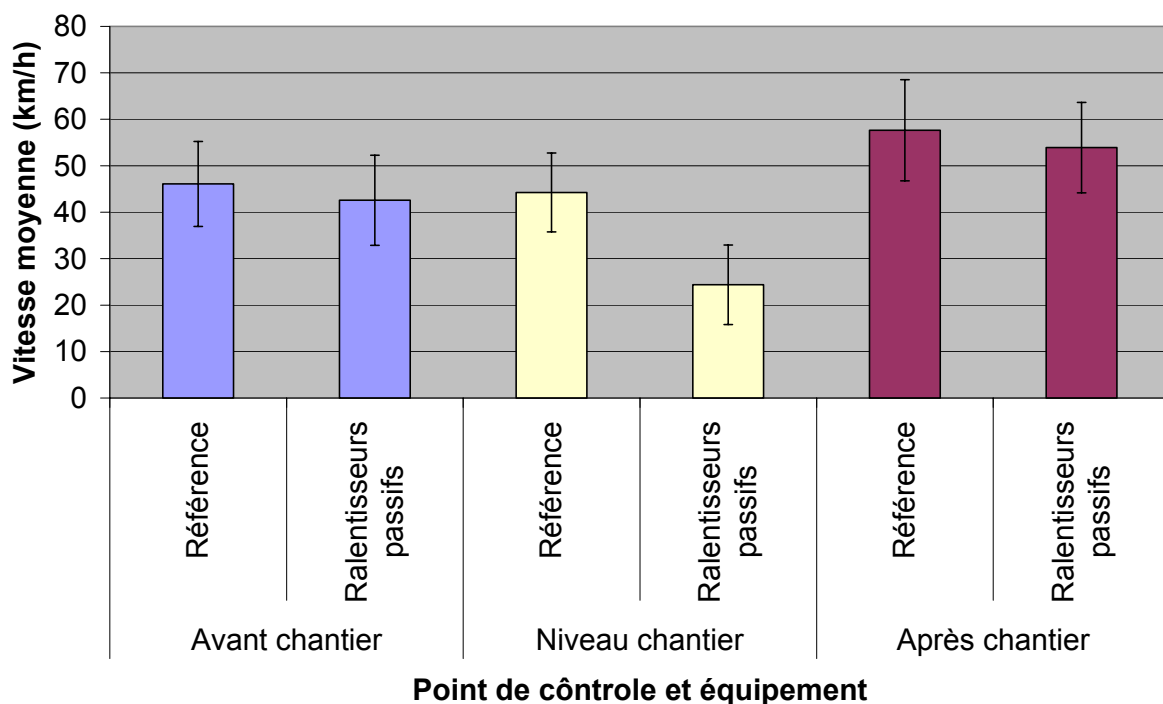


Figure 3 - Vitesse des véhicules au passage d'un chantier routier fixe avec et sans ralentisseurs passifs à Katrineholm. Bien que le chantier soit le même qu'à la Figure 1b, les conditions n'étaient pas les mêmes, et par conséquent la référence était différente.

vitesse, la vitesse de référence était supérieure à la limitation de vitesse. La vitesse moyenne constatée durant le contrôle de référence a été de 36 km/h. Le mini-ralentisseur a servi à réduire la vitesse moyenne de 7 km/h et le panneau « votre vitesse » de 4 km/h, par rapport à la vitesse de référence.

2.4. Discussion

L'évaluation comparative de plusieurs méthodes destinées à réduire la vitesse des véhicules au passage de trois chantiers routiers fixes montre l'impact des quatre types d'équipements utilisés : ralentisseurs passifs escamotables ; panneaux de signalisation à affichage numérique indiquant la vitesse réelle des véhicules (« votre vitesse ») ; et « ralentisseur actif ». Les résultats indiquent que les méthodes relativement peu coûteuses (ralentisseurs passifs, escamotables) peuvent s'avérer aussi bonnes que les méthodes plus coûteuses. Les agents des équipes travaillant sur les chantiers ont déclaré qu'ils trouvaient que l'utilisation des panneaux « votre vitesse » demandait moins d'effort que tous les autres équipements de réduction de vitesse évalués.

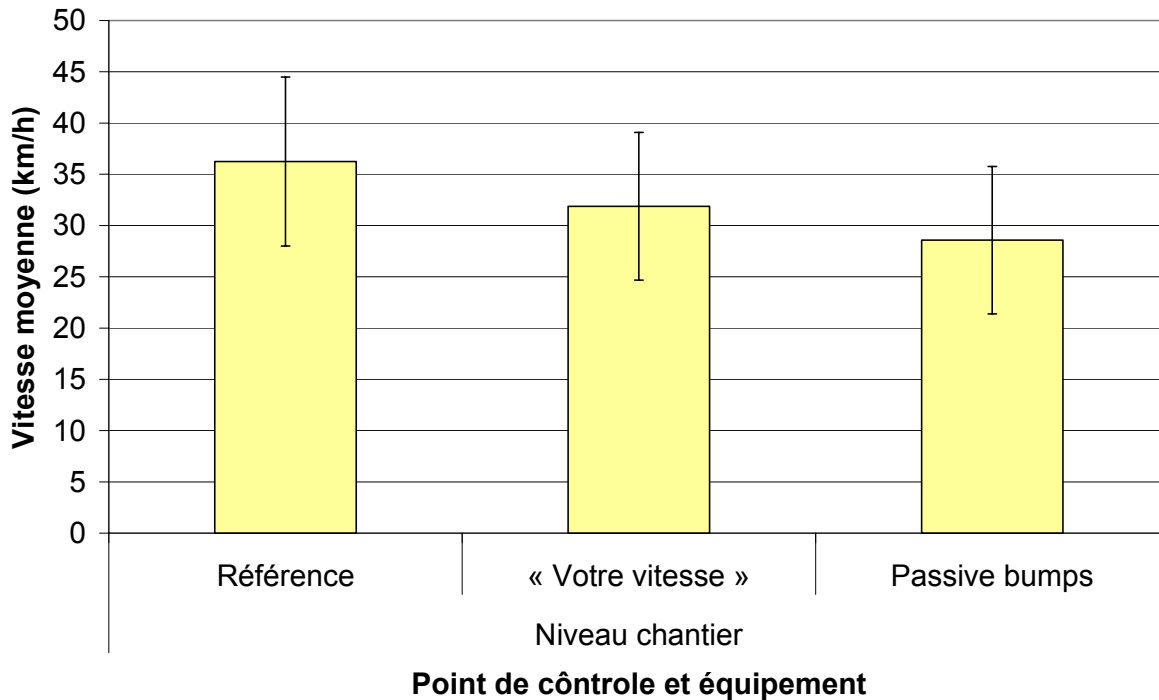


Figure 4 - Vitesse des véhicules au passage d'un chantier routier fixe à Fagersta. La figure montre la vitesse moyenne en km/h (moyenne \pm erreur standard) des véhicules au passage de 4 points de contrôle différents où sont utilisés des équipements de réduction de vitesse différents. Toutes les données ont été collectées du lundi au vendredi de 7h00 à 15h30 et tous les points de contrôle étaient situés dans une zone où la limitation de vitesse était de 30 km/h.

Comme cela a été mentionné, plusieurs études antérieures ont tenté d'analyser les effets des équipements destinés à réduire la vitesse. Par exemple, Ullman & Rose (2005) [17] a évalué l'impact de concepts dynamiques de réduction de vitesse à des moments différents dans sept emplacements permanents d'un intérêt particulier ; p. ex., proximité d'écoles au Texas, et Fontaine & Carlson (2001) [18] a tenté d'évaluer l'impact des panneaux d'affichage de la vitesse réelle et des bandes rugueuses pour les chantiers routiers en zone rurale. La présente étude est, cependant, une des premières à comparer plusieurs produits différents commercialisés. Il convient de noter que le « ralentisseur actif » (dont la hauteur dépend de la vitesse du véhicule approchant) utilisé était plus ou moins un prototype et que, de l'avis du fabricant, ce ralentisseur a été développé davantage depuis l'évaluation.

Il est impossible, sur la base des constatations actuelles, de recommander de méthode ou d'équipement spécifique, car il s'est avéré que tous avaient un effet de réduction de la vitesse. Le choix de la méthode devrait être en fonction du type de travaux routiers, du type de circulation et des impératifs économiques. Il pourrait être possible que l'utilisation excessive d'une certaine méthode réduise en fait son effet de réduction de la vitesse [19] ; p. ex., l'emploi trop fréquent de panneaux « votre vitesse » ou de radars « factices » risque d'émousser l'effet qu'ils ont sur les usagers. Il y a également un risque que l'utilisation trop fréquente d'équipements à des emplacements où la vitesse de circulation est déjà lente puisse amoindrir l'impact de ces équipements au passage des chantiers routiers où les vitesses de circulation sont, hélas, élevées. D'autres travaux de recherche sont nécessaires pour confirmer ces hypothèses.

Les comparaisons entre les différents sites d'essai ont montré des résultats divers. Le meilleur impact de l'équipement destiné à réduire la vitesse de circulation a été constaté au chantier routier où la vitesse de la circulation était élevée sans méthode de réduction de la vitesse (à Fjärdhundra). En se basant sur cette constatation, il semblerait raisonnable de supposer que l'impact le plus grand est obtenu sur les chantiers où les vitesses de circulation sont les plus élevées, et par conséquent où le besoin est le plus grand. Une suggestion est donc d'utiliser en priorité, dès le stade de la planification, l'équipement destiné à réduire la vitesse sur les chantiers routiers considérés être particulièrement exposés à des vitesses de circulation élevées.

3. REDUCTION DE LA VITESSE LORS DE LA REPARATION DE GLISSIERES OU BARRIERES CENTRALES

3.1. Route « 2+1 » en tant que mesure de sécurité routière en Suède

Les routes anciennes les plus fréquentées en Suède sont pour la plupart des routes de 13 m de largeur avec une voie par sens de circulation et de larges bas-côtés. En 1998 vit l'adoption de la première d'une vague de mesures peu onéreuses en fonction desquelles des tronçons de ces routes furent aménagés avec en alternance deux voies de circulation dans un sens et une dans l'autre (appelées routes « 2+1 ») et en utilisant une glissière ou barrière centrale [20]. Celle-ci scinde le flux de circulation en deux et permet le dépassement sur plus de la moitié de la longueur de la route (ce qui est indiscutablement plus que sur les routes habituelles fortement fréquentées), tout en améliorant considérablement la sécurité routière. Ces tronçons de route sont dépourvus de bas-côtés. Aujourd'hui, plus de 1 400 km de routes ont été aménagés selon ce principe.

Toutefois, ce type de route ne va pas sans poser de nouveaux problèmes quant à la sécurité des agents employés aux travaux d'entretien. Dans la mesure où ces glissières ou séparations centrales sont fréquemment endommagées, il existe un besoin périodique de réparation dans des conditions où les agents d'entretien sont dans des situations à haut risque. Une façon de réduire le risque d'accident dans de telles situations est d'interrompre la circulation et d'utiliser un véhicule pilote (un quad) pour escorter à faible allure un convoi de véhicules au passage du chantier routier.

Les collisions frontales ont souvent pour conséquence des blessures graves voire mortelles. Cela est particulièrement le cas lors d'accidents impliquant un choc latéral résultant d'un dérapage sur des routes verglacées en hiver. En pareil cas, la zone la plus susceptible à la déformation du véhicule (l'avant) n'est pas en mesure de fournir une protection adéquate aux occupants de la voiture qui dérape, avec pour résultat des blessures encore plus graves. Quelles que soient les conditions climatiques, on peut

prévenir les collisions frontales en installant des glissières centrales de sécurité séparant les voies de circulation opposées.

Le but de cette étude était d'évaluer l'effet de la gestion de la circulation par convoi. Un essai de démonstration a été réalisé en août 2005, parallèlement à un essai de simulation de la circulation, pour déterminer le volume de circulation maximum qui peut être géré de cette manière sans imposer d'attente excessivement longue aux usagers de la route.

3.2. Contexte

L'administration suédoise de l'environnement du travail [21] 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. La réparation de la barrière centrale sur une route « 2+1 » est un bon exemple de ce genre de situation vulnérable. 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, 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) [22].

Il convient de mentionner que les interprétations peuvent varier d'un pays à un autre et que la Suède a choisi d'appliquer une interprétation relativement stricte. Quoiqu'il en soit, il est très difficile de parvenir à contrôler la vitesse de circulation au passage de chantiers routiers sur une route de type « 2+1 » en imposant une limitation de vitesse de 30 km/h sans appliquer des mesures spéciales, comme l'utilisation d'un véhicule pilote pour escorter les véhicules.

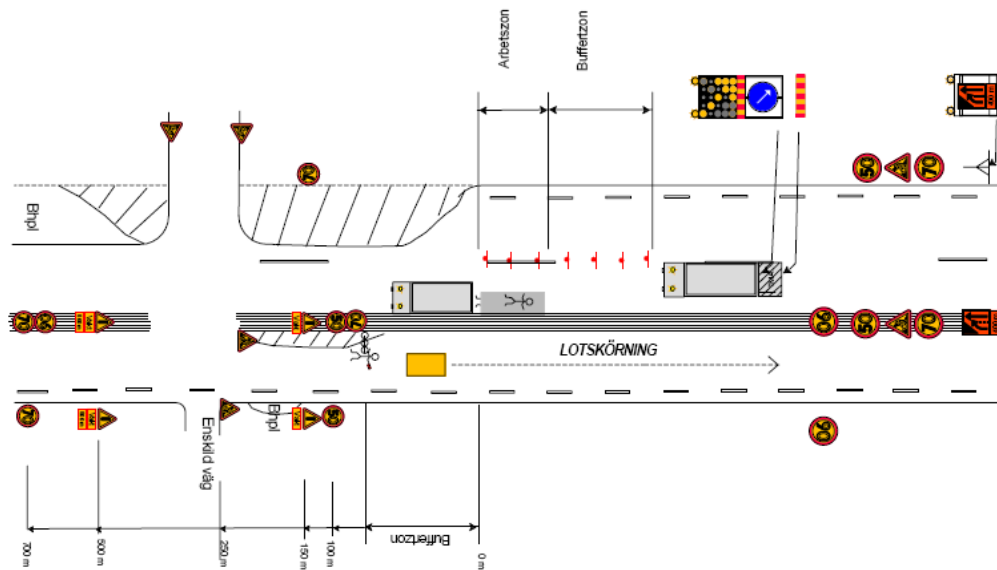


Figure 5 - Convoi de passage d'un chantier sur une route ayant en alternance 2 voies de circulation dans un sens et 1 dans l'autre, avec une glissière centrale. Le schéma montre l'essai de démonstration effectué en Suède avec les zones sécurisées, les zones de travail, l'agent tenant le drapeau et le convoi de véhicules.

Les règlements de l'administration suédoise des routes concernant les convois représentent moins d'une page, sans autre manuel ou recommandation additionnel [23]. En Grande-Bretagne, par exemple, la méthode est décrite en détail par le Department for Transport/Highways Agency et. al. [24, 25] dans les termes suivants : *"In this method, traffic is brought to a halt in advance of roadworks and is then led slowly in single file through the site past the works by an appropriately signed works vehicle"* (« dans cette méthode, la circulation est arrêtée avant le chantier routier et elle est ensuite guidée au passage du chantier à vitesse lente et en file indienne par un véhicule de chantier doté d'une signalisation adéquate ») en précisant : *"convoy traffic management may be used where normal traffic management arrangements are not feasible because of restricted highway width, and diversion is impracticable..."* (« ...la gestion de la circulation en convoi peut être utilisée quand d'autres méthodes de gestion du trafic ne sont pas envisageables en raison de la largeur insuffisante de la chaussée et quand une déviation est une solution impraticable... »).

3.3. Essai de démonstration

Un essai de démonstration a été réalisé à Nora, 300 km à l'ouest de Stockholm en août 2005 (Figure 5). L'objectif était d'évaluer l'impact de la méthode consistant à escorter un convoi de véhicules pour contrôler la circulation à proximité des chantiers de réparation de glissières centrales sur les routes « 2+1 ».

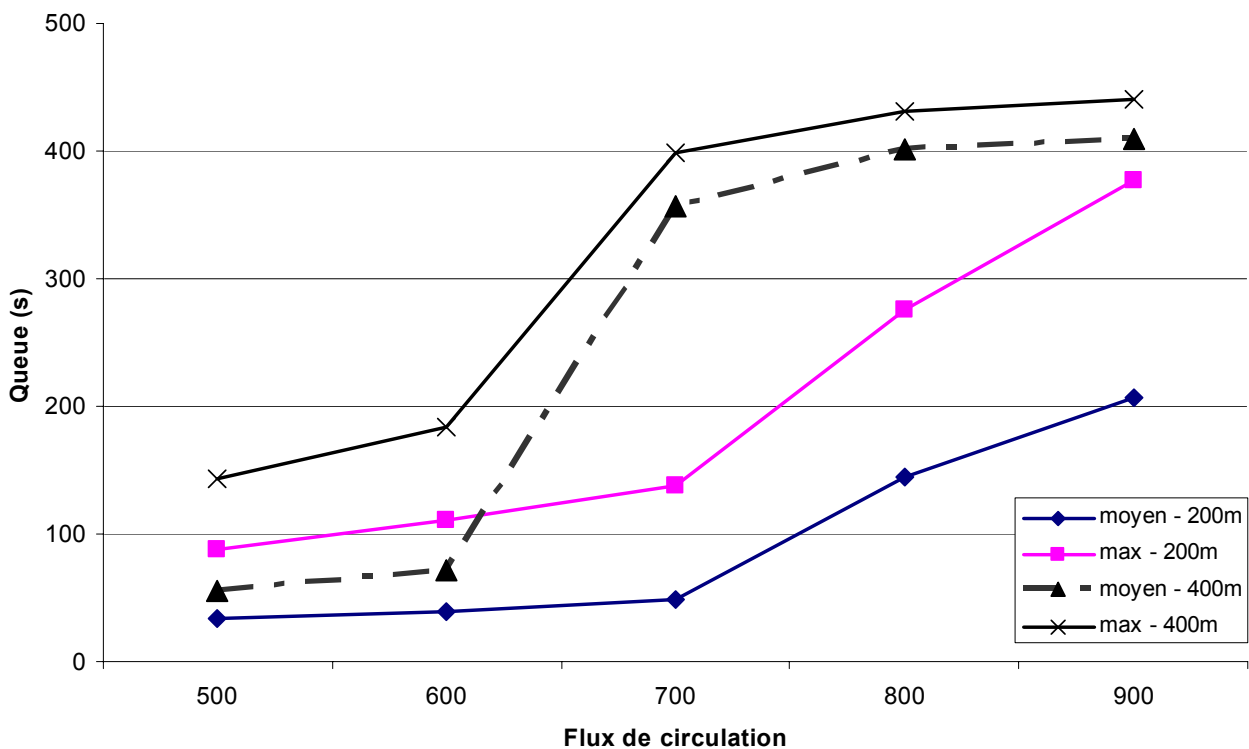


Figure 6 - Queue d'attente moyenne en secondes en tant que fonction du volume de circulation. Les résultats sont basés sur une simulation d'un véhicule pilote/escorte en tant que moyen de contrôler le flux de circulation dans le cas d'un chantier de réparation d'une glissière centrale sur une route « 2+1 ».

Le convoi était dirigé par un agent tenant un drapeau et il était escorté par un véhicule pilote sous la forme d'un quad. Lors de l'essai, un questionnaire a été distribué aux usagers qui faisaient la queue dans la file d'attente.

Le véhicule pilote collectait le convoi de véhicules et le guidait à une vitesse légèrement supérieure à 20 km/h, sous la direction de l'agent tenant le drapeau, avec lequel il était en communication radio. Après avoir signalé à une file de véhicules de passer, l'agent tenant le drapeau arrêta de nouveau la circulation. Le véhicule pilote guidait le convoi au passage du chantier, s'arrêtait et faisait demi-tour une fois que le dernier véhicule était passé. Les allées et venues prenaient environ 3 minutes dans le cas d'un volume de circulation d'environ 300 à 400 véhicules/heure. Occasionnellement, la circulation était autorisée à passer le chantier sans être accompagnée, le temps de quelques minutes pendant lesquelles le véhicule pilote attendait en marge des limites du chantier. La circulation était de nouveau interrompue quand l'agent tenant le drapeau estimait qu'elle redevenait trop rapide (plus de 30 km/h) au passage du chantier. Il s'est avéré que le flux de circulation était plus régulier quand l'agent tenant le drapeau interrompait systématiquement la queue de véhicules sans évaluer la vitesse de la circulation au passage du chantier.

La méthode a été estimée convenir aux chantiers avec un volume de circulation d'au moins 500 véhicules/heure. Le sondage d'opinion a révélé que les usagers considéraient généralement la méthode du véhicule d'escorte comme étant bonne (26 %) ou très bonne (58 %). Un fort pourcentage (68 %) a exprimé sa préférence pour cette méthode, comparé à seulement 21 % préférant d'autres méthodes. Ce sondage d'opinion a également révélé

une compréhension générale de la nécessité d'accroître la sécurité des agents travaillant sur les chantiers routiers.

Hélas, la fréquence des réponses a été faible, 34 usagers sur 150 seulement ayant rempli le questionnaire. Les résultats sans équivoque ont cependant indiqué que les conclusions tirées étaient raisonnablement sûres.

3.4. Essai de simulation

Pour examiner comment fonctionnait la méthode utilisant un véhicule pilote pour escorter un convoi de véhicules avec des volumes de circulation supérieurs, un modèle d'une route « 2+1 » a été utilisé dans le programme de simulation VISSIM 4.10. L'intention était de contrôler la capacité de cette méthode. L'expérience tirée de l'essai de démonstration a révélé que le volume de la circulation et la longueur du chantier étaient des facteurs qui affectaient considérablement les queues d'attente.

Le modèle de simulation a été utilisé pour déterminer les volumes de circulation que cette



Figure 7 - Evaluation d'une méthode d'escorte de la circulation pour le passage du chantier. Le chantier est situé sur une route ayant en alternance 2 voies de circulation dans un sens et une dans l'autre avec une barrière centrale.

méthode pouvait gérer. Des volumes de circulation de 500 à 900 véhicules/heure ont été étudiés dans le modèle pour des périodes d'une heure. Les zones de chantier étudiées étaient longues de 200 ou de 400 mètres. Une queue d'attente de 2-3 minutes, avec un maximum de 4 minutes était considérée acceptable dans cet essai.

La simulation a été modélisée en fonction des conditions prévalentes lors de la démonstration : une route « 2+1 » ayant dans ce cas une voie de circulation dans la direction est et deux voies dans la direction ouest, dont une était fermée à la circulation. Les travaux de réparation de la barrière à poteaux et câbles (séparation centrale) étaient simulés, avec des véhicules, engins et agents de travaux routiers en place dans la voie fermée à la circulation. Initialement, « l'agent tenant le drapeau » laissait passer un nombre de véhicules de la queue pour rouler dans la direction est derrière le véhicule pilote. Une fois que le convoi avait passé le chantier, le véhicule pilote se rangeait sur le côté et laissait passer les véhicules avant de faire demi-tour pour revenir escorter le convoi suivant sous la direction de l'agent tenant le drapeau.

Dans le modèle, un feu de circulation était utilisé pour représenter l'agent tenant le drapeau, qui arrêta la circulation après l'avoir laissée s'écouler pendant six secondes. Cela en raison du fait qu'un intervalle de temps plus long aurait impliqué que l'impact du véhicule pilote/escorte sur la circulation serait limité, ce qui à son tour pourrait avoir pour résultat des vitesses de circulation supérieures au passage du chantier. Le comportement du conducteur pour différents véhicules a été choisi de façon aléatoire dans le programme VISSIM. Le véhicule pilote/escorte était représenté par un véhicule roulant à une vitesse stable réglée de façon aléatoire entre 25 et 30 km/h. Le reste du trafic roulait à une vitesse souhaitable réglée de façon aléatoire entre 40 et 45 km/h une fois passé le chantier, et obligé de rouler à la même vitesse que le véhicule pilote au passage du chantier.

Un radar était utilisé dans le modèle à la fin du chantier (c.-à-d., au pilote) qui montrait un feu rouge à la signalisation de circulation (agent tenant le drapeau) à l'ouest du chantier. Cela se produisait dans la simulation quand la vitesse de circulation dépassait 35 km/h. Sept simulations ont été réalisées pour chaque volume de circulation étudié et les résultats sont présentés en tant que valeur moyenne pour chaque simulation. Le comportement du conducteur et l'accélération souhaitée dans le modèle ont varié en fonction de la vitesse selon les réglages standard dans le programme VISSIM 4.10, qui à son tour est basé sur Wiedemann, 1974 [26] et sur « des mesures multiples sur le terrain » [27]. Le comportement de la circulation, à part la vitesse moyenne, n'a donc pas été étalonné en fonction des conditions locales. Dans le modèle, les véhicules étaient considérés comme formant une queue d'attente si leur vitesse ralentissait au-dessous de 5 km/h. Ils continuaient d'être considérés comme une queue jusqu'à ce qu'ils atteignent une vitesse supérieure à 10 km/h ou jusqu'à ce que la distance par rapport au véhicule précédent soit supérieure à 20 mètres.

La Figure 6 présente la durée de la queue d'attente à l'agent tenant le drapeau. Dans le cas où la zone de chantier fait 200 mètres de long, il y a un allongement prononcé de la queue d'attente quand le volume de circulation augmente de 700 à 800 véhicules/heure. Quand le volume de circulation est de 700 véhicules/heure, la durée de la queue d'attente moyenne est d'environ 50 secondes, alors que le chiffre correspondant obtenu pour un volume de circulation de 800 véhicules/heure est pratiquement de 150 secondes. Quand la longueur du chantier augmente, la queue d'attente augmente elle aussi. Avec un volume de circulation de 600 véhicules/heure, les queues d'attente durent 70 secondes, et elles durent plus de 350 secondes quand le volume de circulation atteint 700 véhicules/heure. Il convient de noter que le modèle n'est pas fiable pour les queues d'attente de plus de 300 secondes étant donné que la longueur maximum d'une queue d'attente présentée dans la version du programme VISSIM était de 510 mètres.

Par conséquent, la simulation montre que la méthode du véhicule pilote/escorte fonctionne bien pour les chantiers pouvant faire jusqu'à 200 mètres de long, où le volume de

circulation peut atteindre 700 véhicules/heure. Quand le volume atteint 800 véhicules/heure, il y a une augmentation notable de la durée et de la longueur de la queue d'attente. Le temps moyen passé dans la queue d'attente quand le volume de circulation est de 700 véhicules/heure est d'environ 50 secondes et la longueur moyenne de la queue est alors d'environ 100 mètres. Cela est à comparer à 150 secondes d'attente et une queue de plus de 300 mètres de long quand le volume de circulation est de 800 véhicules/heure.

La capacité de la méthode du véhicule pilote/escorte diminue quand la longueur du chantier passe de 200 à 400 mètres. La méthode fonctionne bien pour des volumes de circulation allant jusqu'à 600 véhicules/heure quand la zone de chantier fait 400 mètres de long, et le modèle montre une durée moyenne d'environ 70 secondes pour la queue d'attente. Cette durée passe à plus de 350 secondes quand le volume de circulation atteint 700 véhicules/heure.

Les vitesses de circulation au passage des chantiers de travaux routiers ne sont pas affectées dans une grande mesure par les différences de volume de circulation. Un certain accroissement de la vitesse se produit quand on a un accroissement du volume de trafic au passage de chantiers plus courts (200 m). Cela est probablement dû au fait que la longueur du convoi augmente quand il y a plus de circulation, et dans ce cas l'effet du véhicule pilote sur les derniers véhicules du convoi est minimisé.

3.5. Convoi pour gérer la circulation : discussion et conclusions générales

Les résultats fournis par l'essai de démonstration ont révélé que la méthode du véhicule pilote/escorte est une bonne solution pour imposer une vitesse lente et régulière de la circulation au passage d'un chantier de réparation de la glissière centrale sur une route à deux voies de circulation dans un sens et une dans l'autre « route 2+1 ». Cependant, la réussite de la méthode dépend de conditions locales, comme le volume de la circulation. L'essai de démonstration a montré que, du moins dans les cas normaux, la méthode du véhicule pilote/escorte est un moyen suffisant et que le contact radio est une bonne façon de faciliter les communications entre l'agent tenant le drapeau et le véhicule pilote.

Le sondage d'opinion a révélé un accueil généralement favorable pour cette méthode. Un problème lié à l'évaluation du questionnaire a été la faiblesse de fréquence des réponses (23 pour cent), mais les résultats sans équivoque suggèrent que les conclusions peuvent être considérées comme étant plutôt fiables.

Les résultats fournis par l'essai de simulation donnent une idée des volumes de circulation qui peuvent être gérés au moyen d'un véhicule pilote/escorte. Environ 700 véhicules/heure peuvent être escortés pour le passage d'un chantier routier de 200 mètres de long sans que le temps moyen passé dans la queue d'attente dépasse une minute. Cependant, quand le volume de circulation approche 800 véhicules/heure, des problèmes commencent à apparaître, mais il est difficile de dire exactement à quel niveau la limite est atteinte.

Dans tous les cas, un volume de circulation de 700 véhicules/heure est plutôt élevé pour une route du type « route 2+1 » en Suède, en particulier s'il est possible d'éviter le travail sur les chantiers routiers pendant les heures de pointe. Sur la nationale 222 à Mölnvik, où le volume moyen de circulation par jour, en semaine, est d'environ 10 000 véhicules dans chaque direction (circulation journalière moyenne env. 22 000 véhicules), les résultats des essais de simulation montrent qu'il devrait être possible d'utiliser la méthode du véhicule pilote/escorte dans la direction vers Stockholm à tous moments, excepté entre 6 h et 9h30

et aux environs de 16 h. Dans la direction venant de Stockholm, la méthode pourrait être utilisée à tous moments, excepté entre 14 et 19 h.

Le volume de circulation maximum dans le modèle peut être comparé aux volumes et aux capacités de circulation estimés en Grande-Bretagne [28]. Les estimations présentées dans ces manuels sont tirés de l'avis « Advice Note (TA63/97) » [29] (lettre de Paul Goward). Les chiffres cités, par exemple, pour les volumes de circulation pour lesquels la méthode d'escorte d'un convoi de véhicules peut être utilisée sont basés sur l'expérience acquise quand la méthode a été développée il y a plus de 10 ans, et aucun rapport sur ces travaux n'est disponible.

4. CONCLUSIONS : REDUCTION DE LA VITESSE AU PASSAGE DES CHANTIERS ROUTIERS FIXES TEMPORAIRES

Comparaison des mesures de réduction de la vitesse au passage des chantiers routiers fixes temporaires :

- les résultats ont montré des vitesses de circulation moyenne considérablement plus lentes au passage des chantiers de travaux routiers pour les quatre méthodes évaluées : mini-ralentisseur actif, panneaux « votre vitesse », mini-ralentisseur passif et radar de contrôle de vitesse ;
- la différence constatée lors de l'utilisation des panneaux de signalisation a été particulièrement évidente dans le cas des véhicules qui roulaient le plus vite ;
- les résultats ont également indiqué un impact plus grand aux chantiers routiers où les excès de vitesse sont les plus fréquents.

Emploi de véhicule pilote/escorte pour régler la circulation sur les routes utilisant en alternance 2 voies de circulation dans un sens et 1 dans l'autre « routes 2+1 » ;

- un essai de démonstration a révélé que l'emploi d'un véhicule pilote/escorte pour contrôler la circulation sur les « routes 2+1 » fonctionnait bien pour les chantiers routiers les plus courts (200 à 400 mètres de long). La méthode peut gérer des volumes de circulation de 700 à 800 véhicules/heure dans les conditions prévalant en Suède, à l'exception des routes « 2+1 » à proximité de Stockholm durant les heures de pointe.

5. POUR TERMINER

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

BIBLIOGRAPHIE

1. Administration suédoise des routes. Vägverket. (2006). Delrapport för 2004-2005: Projekt Säkrare arbetsplatser. Publ. nr. 2006:20. En Suédois.
2. Friberg, F. (2007). Lugnare arbete på väg. Internationell utblick för säkrare vägarbeten med inriktning mot olycksanalys och nya metoder för trafiksäkra hastigheter. En *Suédois avec abrégé en anglais*. Vägverket 2007:26.
3. 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).
4. Dixon, K, and Ogle, J. (2004). Evaluating Speed Reduction Strategies for Highway Work Zones, A Draft
5. Literature Review. GDOT Project 2031, GIT Project E-20-J40, mars 2004.
6. 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.

7. 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.
8. Garber, N.J.; 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.
9. 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.
10. Fontaine, M. D, and P. J Carlson. (2001). Evaluation of Speed Displays and Rumble Strips at Rural-Maintenance Work Zones. Dans Transport Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1745, TRB, National Research Council, Washington D.C., 2001, pp. 27-38.
11. 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.
12. 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. Dans Transportation Research Record 1509, TRB.
13. 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.
14. 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.
15. VTI. (2001). Utvärdering av kameraövervakade vägarbetsplatser - en pilotstudie. VTI-kod: N64-2001. Författare: Bolling, Anne & Nilsson, Lena. *En suédois*.
16. Administration suédoise des routes. Vägverket. (2006). Delrapport för 2004-2005: Projekt Säkrare arbetsplatser. Publ. nr. 2006:20. *En suédois*.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Administration suédoise des routes (2006) Vision Zero Vägverket. Order no. 88325. 2^{ème} édition.
21. Arbetsmiljöverket. (2005). Passerande fordonstrafik vid bygg- och anläggningsarbete. CTB 2004/21 068. Väglednings-PM 2005. *En suédois*.
22. Arbetsmiljöverket (1999). Arbetsmiljöverkets föreskrifter för byggnads- och anläggningsarbete. AFS 1999:3. *En suédois*.
23. Vägverket. (2003). Regler för säkerhet vid vägarbete och transporter med kommenterande text. 2003-01-14 Senast reviderad 2003-10-30. *En suédois*.
24. Department for Transport/Highways Agency, Department for Regional Development (Irlande du Nord), Scottish Executive & Welsh Assembly Government. 2006. Traffic Signs Manual, Chapter 8. Traffic Safety Measures and Signs for Road Works and Temporary Situations Part 1: Design 2006. ISBN 0 11 552738 9.
25. Department for Transport/Highways Agency, Department for Regional Development (Irlande du Nord), Scottish Executive & Welsh Assembly Government. 2006. Traffic Signs Manual, Chapter 8. Traffic Safety Measures and Signs for Road Works and Temporary Situations Part 2: Operations. ISBN 0 11 552739 7.
26. Wiedemann, R. (1974). Simulation des Strassenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8.
27. PTV Planung Transport Verkehr AG (2005). VISSIM 4.10. User Manual (2005). Non publié.
28. Department for Transport/Highways Agency, Department for Regional Development (Irlande du Nord), Scottish Executive & Welsh Assembly Government. (2006). Traffic Signs Manual, Chapter 8. Traffic Safety Measures and Signs for Road Works and Temporary Situations Part 2: Operations. ISBN 0 11 552739 7.
29. Department for Transport/Highways Agency. (1997). Design Manual for Road and Bridges. Volume 8. Traffic Signs and Lighting. Section 4. Traffic Management at Roadworks. Part 5. TA 63/97.