

POTENTIEL DE RÉDUCTION DE L'ACCIDENTALITÉ DES SYSTÈMES AVANCÉS D'AVERTISSEMENT DE DANGERS EN CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DÉFAVORABLES

José M. Pardillo Mayora
Universidad Politécnica de Madrid, Espagne
jmpardillo@caminos.upm.es

RÉSUMÉ

Le présent exposé reflète les résultats d'un projet de recherche mené au sein de l'Université Polytechnique (*Universidad Politécnica*) de Madrid dans le but d'évaluer les possibilités de réduire l'accidentalité dans des conditions météorologiques défavorables au moyen de systèmes STI (ITS en anglais). Pour ce faire, nous avons analysé les registres d'accidents de la circulation du Réseau Routier de l'État espagnol sur une période de cinq ans afin d'identifier les tronçons de route sur lesquels la mise en œuvre de mesures spécifiques visant à améliorer la sécurité dans des conditions défavorables était justifiée. Par la suite, nous avons étudié les expériences européennes et américaines concernant l'utilisation de systèmes d'information météorologique routière (SIMR) et de systèmes avancés d'avertissement de dangers météorologiques (nous les désignerons par SADM). Ces expériences ont servi de base à l'ébauche de mesures de ce type lors de trois essais pilotes réalisés sur des tronçons du Réseau espagnol. Les essais ont été complétés par une étude approfondie portant sur un échantillon de 259 accidents ayant provoqué des victimes, survenus dans des conditions défavorables, en vue d'évaluer la réduction de l'accidentalité qui pourrait être obtenue si des systèmes de ce type étaient implantés sur le réseau principal espagnol. Les résultats obtenus indiquent que les économies annuelles des coûts sociaux de l'accidentalité seraient supérieures à l'investissement total nécessaire à l'implantation des systèmes.

1. PROBLÈMES DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE DANS DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DÉFAVORABLES

Le Ministère espagnol de l'Aménagement du territoire a subventionné un projet de recherche mené au sein de l'Université Polytechnique de Madrid afin d'évaluer la réduction de l'accidentalité dans des conditions météorologiques défavorables au moyen de systèmes STI [1].

Le Réseau Routier de l'État espagnol se compose de 25 000 km de routes, dont 30 % sont des autoroutes. Le volume de trafic annuel dépasse les 90 milliards de véhicules-km, ce qui représente 35 % du trafic interurbain en Espagne. Même si le climat est modéré dans la plupart du pays, les zones montagneuses du centre et du nord connaissent des conditions climatiques difficiles pendant l'hiver. Le risque d'accidents augmente de deux à cinq fois dans ces conditions.

Les conditions météorologiques défavorables peuvent avoir des répercussions diverses sur la sécurité du trafic. D'une part, la présence de verglas, de neige ou d'eau sur la chaussée provoque une diminution de l'adhérence des pneus au sol. D'autre part, le brouillard, la pluie intense ou la neige entraînent une réduction de la visibilité. Enfin, la présence de vents forts peut également compromettre la sécurité des véhicules, leur stabilité étant fragilisée et ceux-ci étant plus difficiles à manœuvrer.

La recherche a pris comme point de départ l'analyse de l'accidentalité sur le Réseau Routier de l'État espagnol sur les cinq années comprises entre 1997 et 2001. Au cours de cette période, 96 929 accidents causant des victimes se sont produits sur le Réseau Routier espagnol, dont 9,1 % (8 862) dans des conditions météorologiques défavorables. Ces accidents survenus dans des conditions défavorables ont entraîné un total de 955 décès, soit 9,7 % du total de 9 881 victimes mortelles enregistrées sur le Réseau. Ce pourcentage est resté stable sur les cinq années étudiées.

Les accidents par pluie intense ont été les plus fréquents et ont représenté plus de la moitié du total enregistré par conditions météorologiques défavorables au cours de ces cinq années. Les accidents par brouillard ou survenus alors que la visibilité était réduite du fait des conditions environnantes ont représenté 30 % du total et les accidents par vent fort 7 %. Les pourcentages d'accidents qui se sont produits par temps de neige, de grêle ou à cause de chutes de neige ou de gel sur la chaussée sont inférieurs à 5 % dans chaque cas, ce qui indique que les opérations de prévention de viabilité hivernale ont été menées efficacement et se sont avérées efficaces pour éviter des situations à risque.

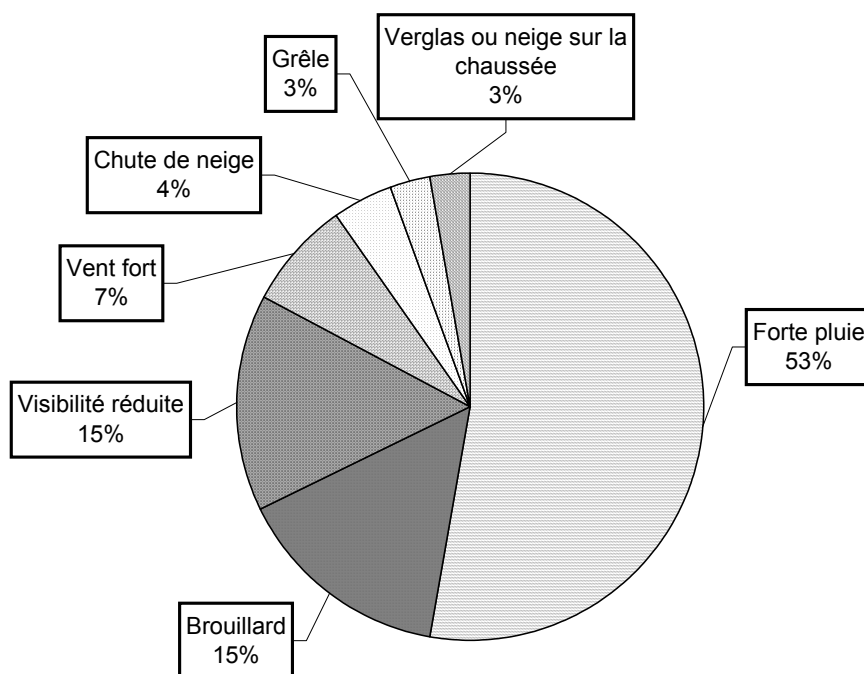


Figure 1 - Conditions atmosphériques dans les accidents de circulation avec victimes par météorologie défavorable sur le Réseau de l'État espagnol (1997-2001)

Deux tiers des accidents provoquant des victimes et plus de 70 % des victimes mortelles enregistrées lors d'accidents survenus dans des conditions météorologiques défavorables ont été attribués, dans les rapports d'accidents, à des vitesses inadaptées de l'un des véhicules impliqués ou à la distraction des conducteurs (Fig. 2).

En conséquence, les mesures d'amélioration de la sécurité doivent avoir pour objectif la réduction des vitesses, une plus grande attention des conducteurs et l'accroissement de la distance de sécurité entre les véhicules lorsque ces conditions défavorables se produisent.

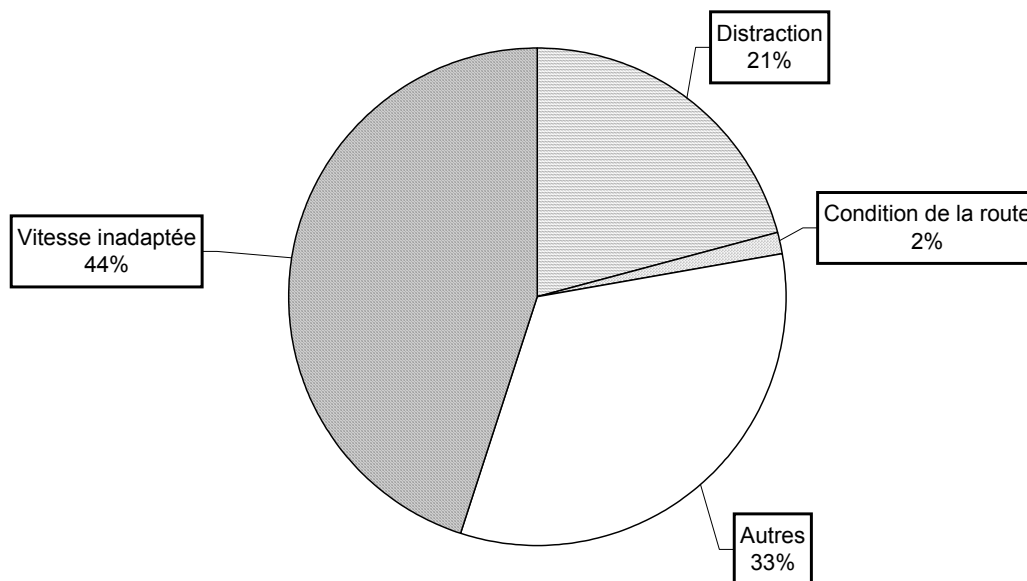


Figure 2 - Principaux facteurs à l'origine des accidents avec victimes par conditions défavorables sur le Réseau de l'État espagnol (1997-2002)

La localisation des accidents survenus dans des conditions météorologiques défavorables sur les cinq années observées est caractérisée par une grande dispersion. Aussi dans la majorité des cas, des mesures conçues spécifiquement dans le but d'améliorer la sécurité dans ces conditions défavorables ne peuvent-elles être adoptées.

C'est pourquoi, les tronçons du Réseau de jusqu'à 10 km de longueur sur lesquels s'étaient produits au moins cinq accidents de ce type et sur lesquels la densité d'accidents survenus dans des conditions défavorables au cours des cinq années était supérieure à 2 accidents /km ont été mis en évidence. 214 tronçons se sont avérés dépasser les minimums indiqués, d'une longueur totale de 744 km, soit 3 % de la longueur du Réseau. 2395 accidents dans des conditions défavorables se sont produits sur ces tronçons entre 1997 et 2001, à savoir 25 % du total relevé sur la période de l'étude.

2. MISE EN ŒUVRE DE MESURES D'AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE DANS DES CONDITIONS DÉFAVORABLES

Une gestion efficace des opérations de viabilité hivernale permet de minimiser la durée pendant laquelle l'adhérence au sol est réduite, d'où une probabilité moins élevée qu'il ne se produise des accidents. Les systèmes d'information météorologique routière (SIMR) sont devenus un outil important pour la gestion de la viabilité hivernale dans les pays du nord et du centre de l'Europe, en Amérique du Nord et au Japon, où ils sont appliqués depuis plus de 20 ans [2].

Les SIMR se constituent d'un ensemble d'équipements et de techniques qui facilitent aux administrations en charge des routes la connaissance et la prédiction des circonstances

météorologiques défavorables et de l'évolution de l'état des routes. Ces informations permettent d'améliorer l'efficacité des interventions des équipes de viabilité et d'informer les usagers sur l'état prévu des routes, d'où un risque d'accidentalité réduit. D'après les données obtenues aux États-Unis, les systèmes d'information météorologique permettent de réduire le temps de traitement des chaussées verglacées de jusqu'à 75 %. Une fois le traitement effectué, les taux d'accidents diminuent de 85 % sur les routes conventionnelles et de 78 % sur les autoroutes [3].

Les principaux composants d'un SIMR sont les suivants :

- Capteurs atmosphériques qui captent et transmettent des données relatives aux températures de l'air, à la quantité et au type de précipitations, à la visibilité, au point de rosée, à l'humidité relative ainsi qu'à l'intensité et à la direction du vent.
- Capteurs de l'état de la chaussée qui captent et transmettent les températures du sol, la fermeté et le terrain ainsi que l'état de la chaussée (surface sèche, mouillée ou verglacée).
- Cartes thermiques des routes du Réseau.
- Modèles de prédiction à court terme de l'état des routes qui intègrent les prédictions météorologiques générales, les données captées par les capteurs et par des radars météorologiques ainsi que les informations statistiques sur le lien entre les conditions météorologiques locales et les valeurs des principales variables atmosphériques.
- Système de communications pour transmettre les informations à l'ordinateur central du système, aux services de viabilité et aux conducteurs.

En outre, pour une plus grande sécurité, il est important que les conducteurs modèrent leur vitesse et augmentent la distance de sécurité entre véhicules en cas de conditions défavorables pour compenser la marge de sécurité disponible écourtée. Des données relevées en Finlande indiquent que même si les conducteurs adaptent, dans une certaine mesure, leur vitesse en fonction des conditions météorologiques, les vitesses auxquelles ils circulent sont excessives lorsque l'adhérence du pneu à la chaussée est réduite en raison du verglas ou de la neige [4]. Ainsi, en dépit de vitesses moyennes sur chaussée glissante inférieures de 4 km/h aux vitesses enregistrées dans des conditions normales, la marge de sécurité dont ils bénéficient est bien moindre que la marge habituelle.

Les systèmes avancés d'avertissement de dangers météorologiques (SADM) permettent de prévenir les conducteurs quant à l'existence de situations à risque spécifiques afin de les inciter à adapter leurs modes de conduite.

3. COMPOSANTS DES SYSTÈMES AVANCÉS D'AVERTISSEMENT DE DANGERS MÉTÉOROLOGIQUES

La composition des SADM va de solutions simples, qui consistent en un capteur de température qui active automatiquement un signal d'avertissement de danger, à d'autres solutions très complexes requérant l'existence d'un SIMR associé pour estimer les conditions d'un tronçon et fixer des limites de vitesse variables ainsi qu'activer les signaux d'avertissement adaptés. Dans tous les cas, les éléments qui composent un SADM sont les suivants :

1. Dispositifs de détection des conditions défavorables.

2. Dispositifs de transmission des messages d'avertissement.
3. Éléments de contrôle et actionnement de système.

Les détecteurs nécessaires dans chaque cas dépendent des conditions de l'emplacement où va être disposé le système et du type de phénomènes ambiants qui s'y produisent. Les capteurs les plus souvent utilisés sont les suivants :

- a) Capteurs de visibilité.
- b) Détecteurs de précipitations.
- c) Anémomètres.
- d) Capteurs de l'état du sol.
- e) Caméras de télévision.
- f) Détecteurs de circulation.

La transmission des messages d'avertissement aux conducteurs au bon endroit n'est pas dénuée de complications. Les conditions atmosphériques sont, en effet, sujettes à des variations fréquentes. Les dispositifs employés pour transmettre les avertissements de danger et les recommandations aux conducteurs peuvent être :

1. Des signaux fixes munis de dispositifs lumineux.
2. Des panneaux avec message variable fixes.
3. Des panneaux avec message variable mobiles montés sur une remorque.

Le contrôle et l'actionnement d'un SADM peuvent être réalisés localement à l'aide d'un contrôleur indépendant doté d'un microprocesseur et des algorithmes de fonctionnement du système correspondants ou à distance, au moyen du système de gestion de trafic installé dans l'ordinateur du centre de contrôle de trafic.

4. EXPLOITATION DES SADM

L'exploitation d'un SADM inclut les tâches suivantes :

1. Transmission des informations captées par les capteurs.
2. Traitement des informations et adoption de décision concernant l'activation et le choix des messages d'avertissement ou leur désactivation.
3. Activation, modification ou désactivation des panneaux de message variable.
4. Contrôle du fonctionnement du système.

L'implantation de SADM pose une série de problèmes supplémentaires par rapport à ceux rencontrés dans le cadre de l'implantation des autres systèmes d'information aux usagers.

En premier lieu, l'emplacement des signaux d'avertissement est essentiel à leur efficacité ; ils doivent en effet se situer dans les lieux où les conditions présentant des risques sont illustrées. En conséquence, pour implanter des SADM, il faut identifier avec précision les tronçons sur lesquels s'illustrent de façon répétitive des conditions météorologiques défavorables.

Ensuite, les avertissements doivent uniquement être activés lorsque les conditions relevées impliquent un risque significatif pour la circulation. Les algorithmes utilisés pour activer les signaux doivent être établis de manière à minimiser les fausses alarmes pour accroître la fiabilité du système.

Enfin, il s'avère vital que les informations soient transmises de manière à attirer l'attention des conducteurs et les inciter à adapter leurs modes de conduite en fonction des conditions exceptionnelles dont ils sont avertis. Les recommandations transmises aux usagers doivent être proportionnelles aux niveaux de risque réels de sorte qu'elles soient facilement comprises et assumées par les usagers. Elles doivent être rédigées clairement et avec précision et leur contenu doit s'adapter aux conditions relevées à chaque moment. De même, le message doit comprendre une recommandation relative à ce que le conducteur doit faire (modérer la vitesse, augmenter la distance de sécurité avec le véhicule précédent, etc.) ou une certaine réglementation des conditions de circulation (limitation de vitesse, interdiction de dépasser, obligation de circuler dans la file de droite pour les véhicules lourds, etc.).

Autre aspect à déterminer : la séquence de transmission des messages aux conducteurs sur les différents panneaux de signalisation variable. En cas de recommandation ou d'imposition de limites de vitesse, une alternative visant à renforcer l'effet de la signalisation consiste à inclure dans la séquence de signalisation, à une certaine distance de la première recommandation ou limitation de vitesse, un signal variable associé à un détecteur de vitesses qui affiche la vitesse à laquelle circule le véhicule ainsi que la limite ou la recommandation établie au préalable.

La quantité d'informations contenue dans le message doit se limiter au maximum à 3 ou 4 concepts. D'autre part, la longueur maximale du message est limitée en raison du temps d'exposition dont bénéficie le conducteur selon la visibilité disponible et la vitesse de circulation. Il est recommandable que celui-ci dispose au moins de 1 seconde pour chaque mot de 4 à 8 caractères et de 2 secondes pour chaque ligne de 12 à 16 caractères.

Les conditions pour l'activation des messages d'avertissement de danger doivent être déterminées dans l'idée de minimiser les fausses alarmes pour renforcer la crédibilité du système vis-à-vis des usagers.

En conséquence, les SADM doivent être conçus pour :

- Sélectionner le message d'avertissement adapté, au bon moment. De manière générale, le contenu et la séquence des messages est fixée par une série d'intervalles de valeurs de la variable mesurée par les détecteurs dont est muni le système (distance de visibilité, vitesse du vent, température et humidité du sol, etc.).
- Empêcher que ne soient transmises des informations qui ne répondent pas à la réalité ou qui parviennent aux usagers trop tard pour qu'ils puissent agir en conséquence.
- Supprimer les messages d'avertissement lorsque la situation à risque disparaît.

Différentes alternatives de configuration des SADM sont possibles selon le type d'actionnement :

- a) Systèmes indépendants à actionnement manuel.
- b) Systèmes indépendants à actionnement automatique.

- c) Systèmes intégrés dans un centre de gestion de trafic avec actionnement et contrôle à distance en modalité assistée ou automatique.

Différentes procédures ont été employées pour optimiser l'emplacement des dispositifs d'avertissement de danger en tenant compte des variations de la circulation, des réactions des conducteurs et du caractère aléatoire de la localisation des conditions météorologiques. À cette fin, nos recherches se sont portées sur l'application d'algorithmes génétiques [5] et de logique diffuse [6].

5. ESSAIS PILOTES

Au cours de la recherche, trois essais pilotes d'application de SADM pour l'avertissement aux conducteurs de restrictions de visibilité ont été réalisés sur trois tronçons situés respectivement sur une route conventionnelle, une voie rapide et une autoroute à péage. L'emplacement des tronçons était la suivante :

1. Tronçon de la route nationale N-301 dans la province de Tolède qui parcourt une zone vallonnée en terrain découvert propice à la formation de grandes nappes de brouillard.
2. Tronçon de la voie rapide N-IV situé aux abords de Santa Cruz de Mudela dans une zone où se produisent des restrictions de visibilité par brouillard
3. Tronçon de l'autoroute A-1 situé dans la zone où l'autoroute rencontre l'Èbre, ce qui favorise la formation de brouillards dus à l'humidité du fleuve.

Le système employé lors des essais était indépendant à actionnement manuel. Deux dispositifs de signalisation mobiles ont été utilisés. Le premier se compose d'un écran de signalisation variable monté sur une remorque. Le second comprend une plaque permettant d'afficher des messages à caractères alphanumériques, montée sur la partie arrière d'une camionnette et complétée d'un dispositif abattable avec dispositifs lumineux dans lequel est installé un signal fixe (Fig. 3).



Figure 3 – Panneau mobile de signalisation d'avertissement utilisé lors des essais pilotes (Texte : Vitesse recommandée 80 km/h-Brouillard à 2000 m)

Le message transmis est renforcé grâce à un dispositif indépendant de mesure de la vitesse par radar, muni d'une plaque de signalisation variable où est indiquée, à travers la signalisation variable, la vitesse de circulation détectée lorsque celle-ci dépasse la vitesse recommandée (Fig. 4).



Figure 4 - Panneau mobile de renforcement de signalisation équipé de détecteurs de vitesses utilisé lors des essais pilotes (Texte : Vous circulez à : 89 km/h)

Les messages d'avertissement de danger ayant été employés sont ceux du tableau 1.

Tableau 1 - Messages transmis par le SADM dans l'étude pilote

Visibilité (m)	Message d'avertissement préalable	Message de renforcement
>200	Désactivé	Désactivé
150-200	Modérez votre vitesse Brouillard à 2000 m	Brouillard Modérez votre vitesse
100-150	Vitesse recommandée 80 Brouillard dense à 2000 m	Vitesse recommandée par brouillard 80 Vous circulez à X km/h
<100	Vitesse recommandée 60 Brouillard dense à 2000 m	Vitesse recommandée par brouillard 60 Vous circulez à X km/h

Pour chaque essai pilote, un enregistrement continu des vitesses des véhicules a été réalisé au moyen de détecteurs magnétiques sur les portions de route où les dispositifs d'avertissement et de renforcement ont été disposés et ce, avant et après leur installation et activation. Les enregistrements obtenus ont permis de comparer les répartitions de vitesses relevées dans des conditions de restriction de visibilité dans les deux situations. Les vitesses moyennes relevées ont été sensiblement inférieures après l'activation des panneaux dans les trois cas. De la même manière, on a assisté à une réduction de la dispersion de vitesses. Ces résultats concordent avec ceux obtenus dans d'autres pays lors d'expériences similaires [7].

6. ESTIMATION DE LA RÉDUCTION DE L'ACCIDENTALITÉ POUVANT ÊTRE ATTEINTE AU MOYEN DE L'IMPLANTATION DE SYSTÈMES D'AVERTISSEMENT DE DANGER SUR LE RÉSEAU ESPAGNOL

Pour estimer le potentiel de réduction pouvant être atteint au moyen de l'implantation de SADM sur le Réseau espagnol, nous avons mené une étude approfondie portant sur un échantillon de 259 accidents ayant causé des victimes. L'échantillon a été sélectionné de manière aléatoire parmi les accidents survenus sur les routes qui enregistrent, conformément aux résultats de l'étude de l'accidentalité sur le Réseau routier espagnol, une plus forte concentration de sinistres dans des conditions défavorables. En fonction de la relation entre la cause de l'accident et les facteurs sur lesquels agissent les SADM, les accidents inclus dans l'échantillon ont été classés en quatre catégories.

1. Relation élevée : accidents attribuables aux conditions défavorables associées à des vitesses inadaptées et à des distractions des conducteurs
2. Relation moyenne : accidents attribuables aux conditions défavorables dans lesquels vitesses inadaptées et distractions des conducteurs n'étaient pas les seuls facteurs à l'origine de ces accidents.
3. Relation faible : accidents attribuables aux conditions défavorables dans lesquels vitesses inadaptées et distractions des conducteurs n'étaient pas des facteurs à l'origine de ces accidents.
4. Relation nulle : accidents non attribuables aux conditions défavorables.

Le tableau 2 résume les résultats de l'étude pour chaque type de condition météorologique défavorable.

Tableau 2 - Résultats de l'étude approfondie d'un échantillon de 259 accidents survenus dans des conditions météorologiques défavorables

Facteur météorologique	Relation entre la cause de l'accident et les facteurs sur lesquels agissent les SADM			
	ÉLEVÉE	MOYENNE	FAIBLE	NULLE
Forte pluie	0 %	79,4 %	5,9 %	14,7 %
Brouillard léger	38,1 %	23,8 %	9,5 %	28,6 %
Brouillard intense	24,3 %	43,3 %	18,9 %	13,5 %
Visibilité réduite	45,5 %	20 %	7,3 %	27,2 %
Vent fort	53,8 %	23,1 %	0 %	23,1 %
Neige	43,4 %	33,3 %	13,3 %	10 %
Gel	75 %	18,8 %	0 %	6,2 %
Poussière ou fumée	0 %	50 %	0 %	50 %

À partir des résultats obtenus lors de l'étude approfondie de l'accidentalité et sur les tronçons d'essai, nous avons estimé la réduction de accidentalité pouvant être atteinte sur le Réseau espagnol au moyen de l'implantation de SADM sur les 214 tronçons où se sont concentrés les accidents dans des conditions défavorables mis en évidence. L'estimation repose sur l'attribution d'une probabilité qu'un accident dans des conditions météorologiques défavorables est évité s'il existe, sur le tronçon concerné, un SADM dont la conception et le fonctionnement sont adaptés pour garantir la transmission d'un avertissement de danger efficace. La formule appliquée pour calculer le facteur de réduction de l'accidentalité correspondant à chaque facteur météorologique prédominant est la suivante :

$$F_j = \sum_{i=1}^4 P_i r_{ij}$$

où

F_j : Facteur de réduction estimé de l'accidentalité dans des conditions défavorables pouvant être atteint grâce à l'implantation de SADM sur des tronçons sur lesquels la condition prédominante est la j

P_i : Probabilité estimée d'éviter un accident dans des conditions défavorables lorsque le degré de relation avec les facteurs sur lesquels agissent les SADM est i (i prend les valeurs suivantes : $i=1 \rightarrow$ Relation élevée ; $i=2 \rightarrow$ Relation moyenne ; $i=3 \rightarrow$ Relation faible ; $i=4 \rightarrow$ Relation nulle)

r_{ij} : Fréquence relative des accidents dans lesquels la condition prédominante est la j dans lesquels le niveau de relation entre la cause de l'accident et les facteurs sur lesquels agissent les SADM est la i

Les facteurs de réduction obtenus sont ceux qui figurent dans le tableau 3.

Tableau 3 - Facteurs de réduction estimés de l'accidentalité par conditions défavorables pouvant être atteints grâce à l'implantation de SADM

Condition prédominante	Facteur de réduction
Forte pluie	0,4088
Brouillard léger	0,4428
Brouillard intense	0,4487
Visibilité réduite	0,4786
Vent fort	0,5459
Chute de neige	0,5403
Gel	0,6940
Grêle	0,4000
Poussière ou fumée	0,2500
Divers	0,4761

En appliquant à l'accidentalité enregistrée sur les SADM identifiés les facteurs de réduction correspondants aux conditions météorologiques prédominantes dans ces accidents, on obtient une estimation de la réduction de l'accidentalité pouvant être atteinte grâce à l'implantation de SADM. La réduction estimée de l'accidentalité atteint 43,5 % des 480 accidents avec victimes dans des conditions défavorables enregistrés en moyenne chaque année sur ces tronçons, auquel cas la réduction de l'accidentalité se chiffrerait à plus de 200 accidents causant des victimes par an, dont 20 étant des victimes mortelles. Les bénéfices sociaux annuels de cette diminution de l'accidentalité seraient supérieurs au coût de l'installation des systèmes sur le Réseau, ayant été estimé à 20 millions d'euros.

7. CONCLUSIONS

Nous pouvons tirer des études réalisées les conclusions suivantes :

- Les conditions météorologiques défavorables sont à l'origine d'importants problèmes de sécurité routière. Concrètement en Espagne, 10 % des accidents provoquant des

victimes se produisent dans ces conditions. Ce pourcentage reste stable dans le temps, ce qui justifie l'adoption de mesures spécifiques pour traiter le problème.

- En Espagne, deux tiers des accidents provoquant des victimes et plus de 70 % des victimes mortelles enregistrées lors d'accidents survenus dans des conditions météorologiques défavorables sont attribués, dans les rapports d'accidents, à des vitesses inadaptées ou à la distraction des conducteurs. Par conséquent, les mesures visant à améliorer la sécurité doivent avoir pour objectif des réductions de la vitesse et une plus grande attention des conducteurs lorsqu'ils conduisent dans des conditions météorologiques défavorables.
- Pour implanter des mesures d'amélioration de la sécurité, il convient d'identifier les tronçons sur lesquels une concentration significative d'accidents dans des conditions défavorables s'est produite.
- L'installation de systèmes avancés d'avertissement de dangers météorologiques correctement conçus et exploités peut permettre de réduire les accidents provoquant des victimes de jusqu'à 40 %. Cette réduction peut atteindre 85 % dans les situations de danger provoquées par le brouillard.
- Les bénéfices sociaux liés à la réduction de l'accidentalité pouvant être obtenus de l'implantation des SADM sur le Réseau espagnol seraient supérieurs au coût d'implantation des systèmes.

RÉFÉRENCES

1. Pardillo Mayora, J. (2004): "Aplicaciones ITS para aumentar la seguridad vial con meteorología adversa". Estudios de Construcción y Transportes nº 100, enero a junio 2004, pags. 29 a 50. Ministerio de Fomento, Madrid, Espagne.
2. Pardillo Mayora, J (1998): "Systèmes de información meteorológica para la gestión de operaciones preventivas de vialidad invernal". Rutas nº 65. Asociación Técnica de Carreteras. Madrid, Espagne
3. Federal Highway Administration (1997): Snow and Ice Control. Road Savers, FHWA-SA-97-035. Washington DC, EEUU
4. Kulmala, R and Rama, P. The Effects Of Weather and Road Condition Warnings on Driver Behavior. Road Safety in Europe and Strategic Highway Research Program ,SHRP. Swedish National Road and Transport Research Institute, Linkoping, Suède
5. Abbas, M and McCoy, P. (1999):Optimizing Variable Message Sign Locations on Freeways Using Genetic Algorithms. 78th Annual Meeting Proceedings, Transportation Research Board, Washington DC, États Unis
6. Placer, J. and Sagahandron, A. (1998): Fuzzy Variable Speed Limit Device Project. Department of Computer and Electrical Engineering. Northern Arizona University, Flagstaff, AZ, États Unis.
7. Robinson, M. (1997):. Examples of Variable Speed Limit Applications. Speed Management Issues Workshop, 79th TRB Annual Meeting. Transportation Research Board, Washington DC, États Unis