



HAL
open science

Régulation des vitesses sur voies rapides urbaines : une synthèse des expérimentations

Serge Care-Colin, Patrick Gendre

► To cite this version:

Serge Care-Colin, Patrick Gendre. Régulation des vitesses sur voies rapides urbaines : une synthèse des expérimentations. [Rapport de recherche] Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU). 1999, 90 p., figures, illustrations, tableaux, 69 références bibliographiques. hal-02162118

HAL Id: hal-02162118

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02162118>

Submitted on 21 Jun 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Centre d'Etudes sur les Réseaux,
les Transports, l'Urbanisme
et les constructions publiques

CERTU



CETE de l'Est

Régulation des vitesses sur voies rapides urbaines

Une synthèse des expérimentations

Collection Rapports d'étude

Publications proposant des informations inédites, analysant et explorant de nouveaux champs d'investigation. Publications susceptibles d'être amendées ou complétées ultérieurement.

Le Certu publie aussi les collections: dossiers, références, débats.

Catalogue des publications disponible sur <http://www.certu.fr>

© Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Janvier 1999

Reprographie : CETE de Lyon & 04 72 14 30 30

Achévé de reprographié : février 1999

Dépôt légal: 1er trimestre 1999

ISSN: 1263-2570

ISRN Certu RE 99-08

CERTU

9, rue Juliette-Récamier

69456 Lyon Cedex 06

tel. 04 72 74 59 59

Internet <http://www.certu.fr>

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du CERTU est illicite (loi du 11 mars 1957).

Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

NOTICE ANALYTIQUE

Organisme commanditaire : CERTU : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques 9, rue Juliette Récamier 69006 Lyon Tel : 04 72 74 58 00 Fax : 04 72 74 59 00			
Titre : REGULATION DES VITESSES SUR VOIES RAPIDES URBAINES			
Sous-titre : Une synthèse des expérimentations		Langue : Français	
Organisme auteur CETE de l'Est : Centre d'études techniques de l'Équipement CERTU : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques	Rédacteurs ou coordinateurs Serge CARE-COLIN (CETE de l'Est, Division Métrologie Exploitation) Patrick GENDRE (CERTU Département Systèmes)	Date d'achèvement Janvier 1999	
Résumé : Ce rapport vient compléter la liste de documents constituant le corpus technique relatif à l'application du schéma directeur d'exploitation de la route pour les infrastructures classées en niveau 1A. Il vient à la suite d'un rapport d'étude du CERTU traitant de la régulation des accès, publié en décembre 97. Ce dernier document rappelle toute la problématique de l'exploitation des voies rapides urbaines et il a paru inutile de faire les mêmes rappels. D'une certaine façon, le présent rapport constitue une suite et un complément à la régulation des accès, bien que les sites d'application puissent être différents. Il participe à la diffusion des connaissances sur ce sujet, en faisant la synthèse d'expérimentations françaises et étrangères, et essayant d'en tirer quelques recommandations générales. Avant d'entreprendre cette étude, peu de réalisations nous étaient connues, à tel point que les deux seules opérations que nous pouvions citer d'emblée étaient Marseille et Rotterdam. Il était difficile de faire des recommandations, et l'expérience de modulation des vitesses réalisée par la SANEF sur l'A35 au Nord de Strasbourg vient d'une certaine façon relancer l'intérêt pour ce type d'action. Après une recherche bibliographique de toutes ces diverses expérimentations, il s'avère que le nombre de réalisations est relativement important, même si ce relevé n'est pas totalement exhaustif. Ce document tente aussi d'expliquer comment ces actions peuvent être couplées avec d'autres mesures d'exploitation, et comment il est possible d'utiliser des moyens (recueil de données, afficheurs) communs pour la mise en œuvre de plusieurs stratégies. Ce document ne prétend pas à l'exhaustivité, tant au niveau des expériences actuelles, que des techniques utilisées et encore moins des algorithmes de régulation. N'oublions pas non plus que les techniques évoluent en permanence, et pour illustrer ce dernier propos, nous citerons quelques axes de recherche actuels : <ul style="list-style-type: none">• les perspectives offertes par la vidéo associée à l'analyse d'image et la mise au point de nouveaux capteurs d'analyse des vitesses,• le développement d'afficheurs à pictogramme intégral,• les expériences actuelles d'implantation de petits PMV sur terre-plein central. Enfin, ce document traduit notre connaissance actuelle du domaine, et aussi ses limites : chaque fois que nous avons pu, nous avons formulé des questions sur les points qui nous ont semblé importants mais sur lesquels nous n'avons pas d'éléments de réponse. Ces questions peuvent susciter de nouvelles expérimentations, ou parfois tout simplement des échanges d'information entre les experts du domaine, que nous ne manquerons de faire figurer dans une 2 ^{ème} version. Pour l'instant il nous a semblé préférable de publier ce document en l'état actuel de nos connaissances, sachant que le « corpus technique » du SDER n'en est qu'à ses débuts. Mentionnons également le fait que la régulation des vitesses (au sens de limitation variable des vitesses) s'inscrit dans un contexte bien plus large de « gestion des vitesses », pour lequel nous avons préféré renvoyer le lecteur à une étude très complète réalisée dans le cadre du projet européen MASTER que d'essayer de la traiter dans sa globalité.			
Mots clés : Gestion des vitesses, régulation des vitesses, exploitation routière, sécurité routière, trafic routier		Diffusion : Publique	
Nombre de pages : 90 pages	Prix : 50 FF	Confidentialité : Non	Bibliographie : Oui

SOMMAIRE

Avant-Propos	1
1. Introduction	3
1.1 Définition de l'action de régulation des vitesses	3
1.2 Le contexte global de la gestion des vitesses	3
2. Principes	4
2.1 Les paramètres utilisés	4
2.1.1 Paramètres objectifs	4
2.1.2 Paramètres d'entrée	7
2.1.3 Réponses intermédiaires	10
2.1.4 Réponses du système : actions de régulation des vitesses	11
2.1.5 Paramètres réglementaires	12
2.2 Modélisation	14
2.2.1 Simulation	14
2.2.2 Calculs élémentaires (exemple)	14
3. études de cas : Plan général d'analyse d'un dispositif de régulation des vitesses sur voie rapide	17
3.1.1 Description du projet	17
3.1.2 Stratégies	17
3.1.3 Système technique	17
3.1.4 Résultats	17
3.1.5 Suite envisagée - Extension - Modifications	17
4. Les expériences Françaises	18
4.1 Autoroute A 6 au Sud de Paris [3]	18
4.1.1 Contexte	18
4.1.2 Système technique	18
4.1.3 Résultats	18
4.2 Autoroute A7 à Bollène [3]	19
4.2.1 contexte	19
4.2.2 système technique	19
4.2.3 résultats	19
4.3 Autoroute A6 à Châlon sur Saône [3]	19
4.3.1 contexte	19
4.3.2 système technique	19
4.3.3 résultats	19
4.4 Autoroute A7 à Valence [3]	19
4.4.1 contexte	19
4.4.2 système technique	19
4.4.3 résultats	19
4.5 Voies rapides urbaines des Bouches du Rhône (Marius) [12]	19
4.5.1 Présentation générale	19
4.5.2 Stratégie	20
4.5.3 Système technique	21
4.5.4 Résultats	23
4.6 SAPRR A31 : Projet MELYSSA [14]	24
4.6.1 contexte	24
4.6.2 système technique	24
4.6.3 stratégie	25
4.6.4 Résultats	25
4.7 Gestion du trafic par canton et régulation des vitesses	26
4.7.1 Contexte	26
4.7.2 Stratégie	26

4.7.3 Description.....	27
4.7.4 Résultats.....	27
4.8 Le plan vitesse à la SAPRR [66].....	27
4.8.1 Contexte.....	27
4.8.2 Stratégie.....	27
4.8.3 Description.....	27
4.8.4 Résultats.....	28
4.9 Autoroute A10.....	28
4.9.1 contexte.....	28
4.9.2 système technique.....	28
4.9.3 résultats.....	29
4.10 Autoroute A4 entre Reichstett et Brumath [42], [65].....	29
4.10.1 contexte.....	29
4.10.2 Stratégie ; conditions d'activation de la régulation.....	29
4.10.3 Système technique.....	30
4.10.4 Résultats.....	30
4.11 Limitation de vitesses sur A35 en cas de pic de pollution.....	31
5. Les expériences Étrangères.....	33
5.1 Aux Pays-Bas.....	33
5.1.1 Les premières expérimentations.....	33
5.1.2 Autoroute A2 entre Utrecht et Amsterdam.....	33
5.2 Limitation de vitesse et météo en Finlande [20].....	35
5.2.1 Contexte.....	35
5.2.2 Système technique.....	36
5.2.3 Résultats.....	36
5.3 Au Royaume-Uni.....	37
5.3.1 Limitation de vitesse sur la M25 à Londres.....	37
5.4 En Allemagne.....	39
5.4.1 La régulation d'itinéraires de la Ruhr (Münster-Wuppertal).....	40
5.4.2 A9 de Munich vers Nuremberg.....	40
5.4.3 autres sites allemands.....	41
5.5 Les États-Unis.....	42
5.5.1 Détroit (1967).....	42
5.5.2 New Jersey.....	42
5.5.3 Réflexions en cours.....	42
5.6 au Japon.....	43
6. Synthèse des Expérimentations.....	44
6.1 Des conditions d'expérimentation très variées.....	44
6.2 Une première synthèse réalisée dès 1982.....	44
6.3 Synthèse générale.....	45
6.3.1 Baisse des vitesses.....	45
6.3.2 Respect des vitesses affichées.....	45
6.3.3 Évolution des T.I.V.....	45
6.3.4 Évolution de la capacité.....	45
6.3.5 Diminution des bouchons.....	46
6.3.6 Évolution de la sécurité.....	46
6.3.7 Limitation de vitesses et répression.....	46
6.3.8 Nuisances sonores et pollution.....	46
6.3.9 Consommation de carburant.....	46
6.3.10 Conduite en situation hivernale.....	46
6.3.11 Gains économiques.....	47

6.3.12 Les méthodes d'évaluation.....	47
6.3.13 Les apports des projets européens	47
6.3.14 Coopération entre exploitants.....	47
6.3.15 Caractère expérimental	47
7. Quelques recommandations.....	48
7.1 Contexte : situations types à équiper	48
7.2 Stratégie	49
7.2.1 Espacement des panneaux	49
7.2.2 Nombre de vitesses affichées.....	49
7.2.3 Affichage d'autres messages que l'information de vitesse.....	49
7.2.4 Renforcement du message avec des flashes	50
7.2.5 Une spécificité récente : l'affichage des temps de parcours	50
7.2.6 L'association message littéral - pictogramme	50
7.3 Système technique	50
7.3.1 Afficheurs	51
7.3.2 Capteurs et recueils de données.....	51
7.3.3 Algorithmes	51
7.4 Résultat d'évaluations.....	52
7.4.1 méthodologie	52
7.4.2 suivi des vitesses pratiquées.....	52
7.4.3 Prix	52
7.5 Perspectives	53
7.5.1 maîtres d'ouvrage	53
7.5.2 exploitants.....	53
7.5.3 réseau technique de l'Équipement.....	53
7.5.4 industriels.....	53
7.5.5 recherche.....	53
7.5.6 bureaux d'études.....	53
Bibliographie	54
Annexe. Évaluation des impacts des systèmes : méthode en 12 étapes	57
Annexe : Technologies d'affichages dynamiques	58
Annexe. Principes et techniques pour le recueil de données de trafic	60
Annexe. Le projet européen MASTER : recommandations en matière de stratégies de gestion des vitesses	63

Avant-Propos

Ce rapport vient compléter la liste de documents constituant le corpus technique relatif à l'application du schéma directeur d'exploitation de la route pour les infrastructures classées en niveau 1A ([7], [8]).

Il vient à la suite d'un rapport d'étude [15] traitant de la régulation des accès publié en décembre 97. Ce dernier document rappelle toute la problématique de l'exploitation des voies rapides urbaines et il a paru inutile de faire les mêmes rappels. D'une certaine façon, le présent rapport constitue une suite et un complément à la régulation des accès, bien que les sites d'application puissent être différents. Il participe à la diffusion des connaissances sur ce sujet, en faisant la synthèse d'expérimentations françaises et étrangères, et essayant d'en tirer quelques recommandations générales, tout en insistant sur le fait que chaque site constitue un cas particulier dont la stratégie d'exploitation ne peut être définie que localement.

Avant d'entreprendre une telle étude, peu de réalisations nous étaient connues, à tel point que les deux seules opérations que nous pouvions citer d'emblée étaient Marseille et Rotterdam. Il était difficile de faire des recommandations, et l'expérience de modulation des vitesses réalisée par la SANEF sur l'A35 au Nord de Strasbourg vient d'une certaine façon relancer l'intérêt pour ce type d'action.

Après une recherche bibliographique de toutes ces expérimentations, d'ailleurs très diverses, il s'avère que le nombre de réalisations est relativement important. Même si ce relevé n'est pas totalement exhaustif, l'éventail des situations d'emplois de la régulation des vitesses est relativement étendu à travers le monde. Depuis une simple information non contraignante à Marseille jusqu'à un enregistrement vidéo des véhicules en infraction à Londres, la richesse des informations recueillies sur ce sujet est suffisante pour en dégager des idées maîtresses et conclure par quelques recommandations.

Ce document tente aussi d'expliquer comment ces actions peuvent être couplées avec d'autres actions d'exploitation, et comment il est possible d'utiliser des moyens (recueil de données, afficheurs) communs pour la mise en œuvre de plusieurs stratégies.

Ce document ne prétend pas à l'exhaustivité, tant au niveau des expériences actuelles, que des techniques utilisées et encore moins des algorithmes de régulation. N'oublions pas non plus que les techniques évoluent en permanence, et pour illustrer ce dernier propos, nous citerons quelques axes de recherche actuels :

- les perspectives offertes par la vidéo associée à l'analyse d'image et la mise au point de nouveaux capteurs d'analyse des vitesses,
- le développement d'afficheurs à pictogramme intégral,
- les expériences actuelles d'implantation de petits PMV sur terre-plein central.

Enfin, ce document traduit notre connaissance actuelle du domaine, et aussi ses limites : chaque fois que nous avons pu, nous avons formulé des questions sur les points qui nous ont semblé importants mais sur lesquels nous n'avions pas d'éléments de réponse. Ces questions peuvent susciter de nouvelles expérimentations, ou parfois tout simplement des échanges d'information entre les experts du domaine, que nous ne manquerons de faire figurer dans une

2^{ème} version. Pour l'instant il nous a semblé préférable de publier ce document en l'état actuel de nos connaissances, sachant que le « corpus technique » du SDER n'en est qu'à ses débuts.

Mentionnons également le fait que la régulation des vitesses (au sens de limitation variable des vitesses) s'inscrit dans un contexte bien plus large de « gestion des vitesses », pour lequel nous avons préféré renvoyer le lecteur à une étude très complète réalisée dans le cadre d'un projet européen [17] que d'essayer de la traiter dans sa globalité.

Ce document a été rédigé par Serge Care-Colin (CETE de l'Est), puis complété par Patrick Gendre (CERTU), à partir des relectures critiques mais constructives de Jean-Marc Chauvin (CETE Normandie-Centre), Jean-Marc Hotteau (CETE Nord-Picardie), Simon Cohen (INRETS), Gildas Lemaître (CETE Méditerranée), Jacques Nouvier (CERTU), que nous remercions ici pour leur amicale mais néanmoins pertinente collaboration.

Nous remercions également M. Veli-Pekka Kallberg du VTT Finlandais, et M. René Bastiaans de la DGVII à Bruxelles, pour nous avoir autorisés à traduire les points-clés du projet Master.

1. INTRODUCTION

1.1 Définition de l'action de régulation des vitesses

On appelle « régulation des vitesses » la stratégie d'exploitation qui consiste à modifier dynamiquement la signalisation de limitation de vitesse en vue de modifier la distribution des vitesses, et plus précisément de la rendre plus homogène et d'améliorer ainsi en principe la sécurité et la fluidité. Ce rapport d'étude se focalise sur la régulation des vitesses sur VRU, mais considérera aussi plus brièvement les autoroutes interurbaines, et même les réseaux urbains non dénivelés.

Le terme « modulation des vitesses » est parfois employé, avec le même sens.

La régulation des vitesses sur voies rapides est une action pour laquelle on a avancé beaucoup de justifications a priori. Si celles-ci ont été le plus souvent vérifiées, il convient de constater que ces justifications ont évolué avec les époques. Alors que dans les années 60, l'objectif était de chercher à augmenter la capacité des infrastructures, la fin des années 90 est plutôt à la recherche d'une circulation moins heurtée, plus "apaisée", et donc plus sécuritaire.

1.2 Le contexte global de la gestion des vitesses.

La régulation des vitesses telle que définie ci-dessus n'est bien sûr qu'un moyen d'action pour modifier les vitesses pratiquées sur le réseau routier. Le problème de gestion des vitesses dans son cadre le plus général a été traité dans le projet européen MASTER¹ qui vient de s'achever. Nous renvoyons le lecteur en annexe, où nous avons résumé en français les principaux résultats du projet, et signalons au passage que l'ensemble des 12 rapports de recherche est disponible en texte intégral sur l'Internet².

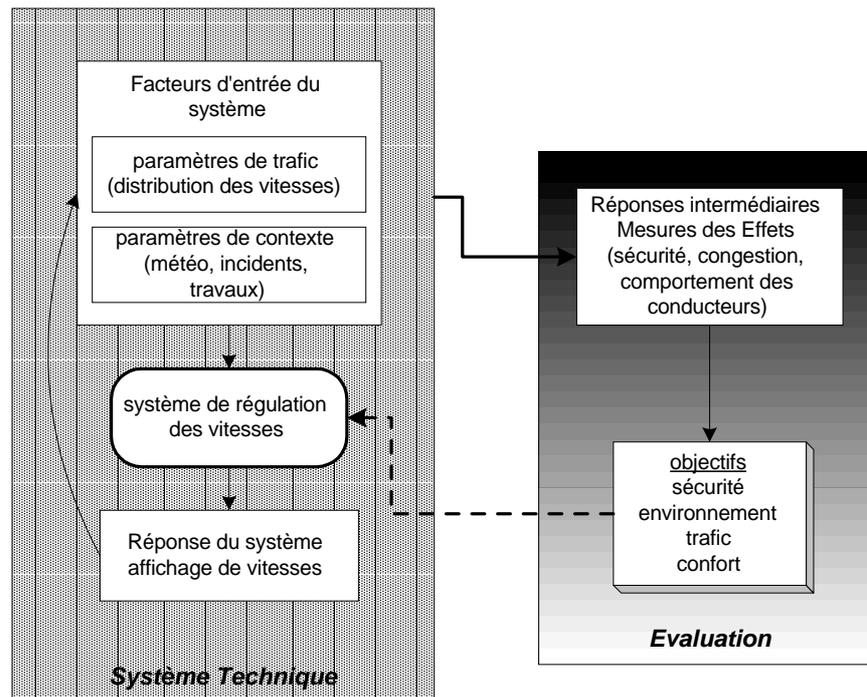
¹ « Managing Speeds of Traffic on European Roads » [17], projet financé par la DGVII et coordonné par VTT (Finlande). Comme tout projet européen de ce genre, rappelons que le contenu des rapports d'étude ne reflète pas nécessairement le point de vue ou une position formelle de la Commission Européenne.

² www.vtt.fi/yki/yki6/master/master.htm.

2. PRINCIPES

2.1 Les paramètres utilisés

Une action de régulation des vitesses consiste par définition à modifier dynamiquement la signalisation de limitation de vitesse en vue de modifier la distribution des vitesses. Cette action implique la mise en place d'un système technique (plus ou moins intégré à un système complet d'exploitation du trafic). Pour étudier ce système, que ce soit en phase de conception, de développement, de mise en œuvre ou d'évaluation opérationnelle, de nombreux paramètres quantitatifs ou qualitatifs sont utilisés. Nous proposons de les classer en fonction de leur rôle pour le système de régulation des vitesses, comme indiqué dans la figure ci-dessous.



les paramètres utilisés

Nous allons les étudier en partant des objectifs, bien qu'en pratique la démarche de conception parte aussi de l'existant en matière de capteurs (dont découleront les entrées du système ainsi que la plupart des réponses intermédiaires).

Les réponses du système (actions de régulation des vitesses) dépendent des paramètres d'entrée ; elles en dépendent soit de manière automatique (algorithme), soit manuelle (procédure, par exemple en cas de pic de pollution).

Enfin, on évoquera rapidement les aspects réglementaires.

2.1.1 Paramètres objectifs

Ces paramètres indiquent comment les objectifs sont atteints.

- Sécurité : nombre de tués, de blessés, dégâts matériels, nombre de véhicules par accident,
- Trafic : capacité et temps de parcours,
- Environnement : consommations, bruit, pollution de l'air,
- Confort : perception, satisfaction des usagers, amélioration de la fiabilité des temps de parcours calculés, etc.
- Rentabilité : en monétarisant les paramètres ci-dessus : sécurité, environnement, trafic (conséquences financières en terme de report d'investissements en infrastructures) et confort (par exemple diminution du temps perdu)

2.1.1.1 Augmentation de la capacité

Souvent avancé, quelquefois avec prudence, cet aspect ne semble plus être prioritaire. Même si la démonstration théorique à l'aide du diagramme fondamental débit/vitesse permet de montrer que le débit maximum pour une voie rapide est obtenu pour une vitesse de 70 à 80 km/h, bien d'autres éléments sont intervenus, depuis, ramener ce critère à de plus justes proportions.

Une étude intéressante citée dans [55] a comparé les capacités des autoroutes aux Pays-Bas et en Allemagne ; les chiffres sont meilleurs aux Pays-Bas et l'explication avancée est que l'absence de limitation de vitesse sur certaines sections en Allemagne augmente la variabilité des vitesses et réduit les débits.

L'augmentation espérée des débits reste toutefois par exemple au centre de l'argumentaire développé par la SANEF pour son expérience de régulation de vitesse sur A35.

Il est fait état dans la littérature [23] d'une augmentation de la capacité des infrastructures au cours des dernières années, attribuée à l'amélioration des performances des véhicules et des comportements de conduite. Nous en extrayons notamment un tableau d'évolution du diagramme débit-vitesse sur autoroutes, qui bat en brèche l'idée selon laquelle la vitesse pratiquée augmente, le débit chute rapidement (on considérait souvent que c'était le cas dès 60 km/h), idée qui a prévalu jusqu'à la fin des années 80.

Débit en véh/h	1 000	1 600	1 800	2 000	2 200
Vitesse en 85	112	82	74	57	---
Vitesse en 94	112	112	107	101	91

A partir de courbes débits - vitesses - typiques de différents niveaux de service rappelés dans le tableau ci-dessous, [23] constate que "A la différence d'il y a dix ou vingt ans, les véhicules circulent aujourd'hui à des vitesses maximales jusqu'à des débits atteignant environ 75 % de la capacité. La courbe débit/vitesse montre en effet que la vitesse désirée est pratiquement commune aux niveaux de service A, B et C. Or, pour ce dernier niveau de service C, le rapport de la vitesse moyenne à la vitesse libre était encore estimé à 0,7 il y a à peine dix ans".

	Niveau A	Niveau B	Niveau C	Niveau D	Niveau E
débit par voie	<700	700→1100	1100→1550	1550→1850	>1850
vitesse en km/h	>105	>100	90→125	75→115	50→105

Toutefois ce même article [23] précise plus loin que "des gains de capacité résulteraient de l'harmonisation des vitesses pratiquées et des distances inter-véhiculaires adoptées".

Pour conclure, on peut constater que les vitesses ont une tendance « naturelle » à s'harmoniser. Les messages de régulation des vitesses et les équipements correspondants (PMV) seraient là pour accompagner cette évolution. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette tendance :

- Améliorations de l'infrastructure et de son niveau d'équipements,
- Évolution des comportements et meilleure maîtrise des conducteurs,
- Évolution des performances des véhicules, du moins sur route sèche,
- Augmentation de la demande et donc débits maximum atteints plus souvent.

Pour l'utilisateur automobiliste, le temps de parcours (sa valeur moyenne et aussi sa variabilité) sur un itinéraire est la mesure de fluidité du trafic la plus pertinente. La notion de vitesse moyenne, très liée à celle de temps de parcours, est aussi un bon indicateur pour l'exploitant dans le cadre des opérations d'exploitation de la route lors de périodes de

pointes récurrentes ou non : (heures de pointes résultant des mouvements pendulaires ou jour de pointe résultant des départs/retours de vacances). Sur voie rapide, on s'intéresse surtout aux tronçons les plus chargés à l'approche des grandes agglomérations ou sur les contournements de celles-ci.

2.1.1.2 Amélioration de la sécurité

C'est généralement l'argument qui est avancé tout de suite après celui relatif à l'augmentation de capacité.

Pour ce second aspect, la régulation des vitesses vise à réduire un certain nombre de comportements considérés comme accidentogènes. Le nombre des tués n'est pas corrélé avec la moyenne des vitesses instantanées. En revanche, le nombre de tués croît avec l'écart-type des vitesses (voir [13]).

En particulier, on vise la dispersion des vitesses dans le temps et dans l'espace qui est une cause de la multiplication des dépassements et changements de file, des accélérations et des freinages, qui se traduit par des vitesses relatives trop élevées entre voies adjacentes, mais on cherche également une réduction de certaines vitesses trop élevées.

Il semble finalement que la régulation des vitesses ait un effet positif, tant au point de vue du nombre que de la gravité des accidents, par analogie avec les résultats obtenus par tous les pays ayant adopté une réglementation de la limitation des vitesses. Outre l'effet sur les vitesses pratiquées, il semble que la régulation des vitesses entraîne une augmentation de la vigilance des conducteurs et une mise en éveil. Cela résulte de la crédibilité qui s'attache à cette action en raison de son caractère dynamique et donc supposé adapté à la situation du trafic.

Une étude de l'Inrets [5] a contribué à l'amélioration des connaissances sur le lien entre interdistances courtes et risques de collision arrière.

A la lecture du tableau, on observe une évidence : le pourcentage de T.I.V. courts croît avec le débit.

débit	%T.I.V. < 2 s
< 600 véh/h	12 %
Voie lente	15 à 20 %
1 000 véh/h/sens (2 voies)	30 à 40 %
2 000 véh/h/sens	60 %

Mais ce pourcentage est plus important sur la voie rapide que sur la voie lente alors que le débit y est généralement plus faible !

Les collisions arrière représentent 40 % des accidents sur autoroute et seulement 14 % de l'ensemble des accidents.

2.1.1.3 Diminution de la consommation et de la pollution

Volontairement, ces deux aspects (qui sont d'ailleurs très interdépendants) sont regroupés sous un même titre.

Dans la seconde moitié de la décennie 70, on parlait d'économie d'énergie et la modération des vitesses devait y contribuer. Cet aspect s'est progressivement estompé pour finalement revenir à la fin des années 90 suite aux orientations fournies dans la loi sur l'air et à la relance de la procédure de Plan de Déplacements Urbains. La lutte contre la pollution devrait continuer à prendre de plus en plus d'importance dans les années à venir.

2.1.1.4 Amélioration du confort

Cet aspect est la résultante de l'objectif précédent relatif à la sécurité. Une circulation

avec moins de manœuvres de dépassement, moins de coups de frein, ne peut que participer à l'amélioration générale du confort.

2.1.2 Paramètres d'entrée

Les paramètres d'entrée sont ceux qui sont utilisés par le système pour déclencher des actions de régulation des vitesses. Ce sont essentiellement des mesures de trafic, éventuellement des paramètres liés au contexte (date, heure, météo, événements). Les autres paramètres importants (accidents, comportements) ne sont pas directement pris en compte, et sont en général spécifiquement mesurés à des fins d'évaluation (voir les paragraphes suivants).

2.1.2.1 Paramètres de trafic : variables d'entrée

Les paramètres de trafic de base sont dits « microscopiques » car ils sont relatifs aux véhicules ; les plus courants sont :

- vitesses individuelles des véhicules par voie (V),
- intervalles entre véhicules (TIV et DIV).

Les paramètres qui en découlent lorsque l'on considère le trafic comme un flot sont dits « macroscopiques ». En pratique, les stations de mesure fournissent également ces paramètres, qui sont couramment plus utilisés que les paramètres microscopiques. Les principaux sont :

- débits (Q),
- vitesses.

A partir de la distribution des vitesses, on peut calculer un certain nombre d'autres variables permettant d'identifier la variabilité entre voies, ou entre véhicules, d'une même voie ou non, à une position donnée pendant un « certain » intervalle de temps. Les variables calculées peuvent être des moyennes, des quantiles, des pourcentages, des variances, etc. Nous ne ferons ici qu'un minimum de rappels sur les statistiques, on trouvera des références par exemple dans [2].

Les deux types d'indicateurs (individuels, agrégés) sont utilisés. Traditionnellement, les mesures individuelles sont peu utilisées à cause des capacités de mémoire et de traitement qu'elles exigent ; toutefois ce problème technique a tendance à être levé, et l'utilisation de diagrammes représentant tous les véhicules observés peut être préférée à l'emploi de statistiques telles que moyenne et écart-type, qui exigent un certain nombre de précautions.

En outre, certains indicateurs restent à définir. Par exemple, comment quantifier le phénomène « d'accordéon » à partir des mesures de trafic ?

2.1.2.1.1 vitesses individuelles

2.1.2.1.1.1 pour les véhicules pris isolément

Vitesses individuelles des véhicules par voie V

2.1.2.1.1.2 pour les véhicules pris en peloton

Pour un trafic d'intensité quelconque, le flux de circulation est composé de véhicules « libres » et de véhicules « gênés ». Les premiers peuvent atteindre la vitesse qu'ils souhaitent alors que les seconds voient leur vitesse imposée par le véhicule de tête. La régulation des vitesses influe fortement sur la composition des pelotons.

A partir de la distribution des vitesses, on peut calculer un certain nombre de variables permettant d'identifier la variabilité entre voies, ou entre véhicules, d'une même voie ou non, à une position donnée pendant un « certain » intervalle de temps. Les variables calculées peuvent être des moyennes, des quantiles, des pourcentages, des variances, etc. Il faudrait aussi proposer un indicateur pour quantifier le phénomène « d'accordéon »

2.1.2.1.2 intervalles

- la distance inter-véhiculaire (D.I.V.) est égale à la distance qui sépare deux véhicules (pare-chocs arrière à pare-chocs avant) mesuré en un instant donné. La D.I.V. est la variable directement accessible à l'automobiliste, dont la tâche de conduite en circulation dense consiste surtout à maintenir une **distance de sécurité avec le véhicule qui le précède**, c'est un paramètre important qui résulte à la fois de la densité du trafic et de tendances de conduite. Cette distance représente une réalité de circulation différente selon que le trafic est plus ou moins dense et la vitesse des véhicules plus ou moins grande :

$$DIV = V_2 \times TIV$$

où V_2 est la vitesse du véhicule suiveur.

- le temps inter-véhiculaire (T.I.V.) est l'intervalle de temps qui sépare le passage de deux véhicules (pare-chocs arrière à pare-chocs avant), mesuré en un point fixe. Le T.I.V. entre le véhicule 2 et le véhicule précédent 1 est égal à :

$$TIV = (t_2 - t_1) - l_1/V_1$$

t_i : temps d'arrivée du véhicule en s

v_i : vitesse instantanée m/s

l_i : longueur du véhicule i (en m)

2.1.2.1.3 le débit : Q

Nombre de véhicules par unité de temps, le débit peut prendre plusieurs définitions selon la typologie de véhicules comptabilisés et selon la périodicité d'agrégation des mesures.

typologie de véhicules	utilisation des données
Tous véhicules en distinguant V.L. / P.L. Débits classifiés en 4 à 6 classes de longueurs Débits classifiés en silhouettes (14 classes)	statistiques générales, études de trafic études de trafic, modélisation des niveaux de bruit études de trafic, modélisation des niveaux de bruit évolution des parcs de véhicules, calculs d'agressivité, de structures de chaussées et d'ouvrages, statistiques internationales

période d'agrégation	utilisation des données
entre 0 et 1 mn entre 1 mn et 6 mn par 15 mn par heure par jour et plus	régulation en temps réel actions d'exploitation études de capacité en situation de pointe études de capacité, études de bruit statistiques, calcul des taux d'accidents

Pour le court terme, il peut être intéressant de savoir si une modification des vitesses limites induit un changement dans le choix des itinéraires et donc une modification des débits. A moyen terme, la mesure des débits permet de quantifier une éventuelle progression des trafics, liée ou non à la régulation des vitesses par suite d'une amélioration des conditions d'écoulement. La connaissance des débits permet aussi de calculer les différents taux d'accidents et leur évolution.

2.1.2.1.4 La vitesse moyenne et ses différentes définitions

La vitesse a en réalité plusieurs définitions selon que l'on se situe sur le plan de la réglementation, des profils d'infrastructures ou du point de vue de l'exploitation de la

route : vitesse limitée en raison de travaux ou vitesse conseillée fonction du niveau de saturation ou à cause d'un événement exceptionnel comme un accident.

Les différentes définitions de la vitesse sont précisées dans la norme NFP 99-300 en cours de préparation.

Parmi les nombreuses définitions de la vitesse, la plus souvent utilisée, *la vitesse moyenne arithmétique* s'exprime sous la forme:

$$V_{moy} = \frac{1}{n} \sum_i V_i$$

V_i = vitesse instantanée de chaque véhicule
 n = nombre de véhicules

La moyenne arithmétique représente une moyenne temporelle, soit la moyenne dans le temps des vitesses observées en un point de mesure donné.

Mais pour être en cohérence avec les lois fondamentales régissant l'écoulement des trafics, il peut être utile d'adopter la définition de la moyenne harmonique.

La formule de la *vitesse moyenne harmonique* durant une période est :

$$V_h = n \frac{1}{\sum_i \frac{1}{V_i}}$$

V_i : vitesse instantanée de chaque véhicule
 n : nombre de véhicules

Sur le plan concret, la vitesse moyenne arithmétique rend mieux compte de vitesses élevées pratiquées par un ou plusieurs véhicules. Elle est donc plus pertinente pour les études de sécurité routière. A l'inverse, la vitesse moyenne harmonique privilégie les faibles vitesses. En effet, prendre la valeur inverse revient à considérer « des temps de parcours », qui prennent des valeurs élevées en période de bouchons. Cette définition rend donc bien compte des situations de bouchons

Les quantiles présentent l'avantage d'être très peu sensibles aux valeurs extrêmes : c'est ce qu'on appelle en statistique des indicateurs « robustes ». Les plus courants sont :

- **Le V50** ou la médiane : 50 % des véhicules vont plus vite que la médiane.
- **Le V85³** : c'est la vitesse en dessous de laquelle roulent 85 % des véhicules.

En plus de ces valeurs, on peut se rattacher à des seuils qui ont un fondement réglementaire. Par exemple le pourcentage de véhicules dépassant 50 km/h en agglomération ou 90 km/h sur route nationale.

Ce dernier indicateur a le mérite d'être très facilement interprétable.

2.1.2.1.5 Précision des mesures

La précision statistique des mesures peut être estimée par utilisation de la notion d'intervalle de confiance calculé autour de la moyenne. Pour l'indicateur vitesse moyenne l'unité de mesure est le véhicule tandis que pour les autres indicateurs l'unité de mesure est la période.

On admet généralement que la loi de probabilité des vitesses suit une loi "Bêta". Cependant, à partir du moment où l'on dispose d'au moins 30 observations, la "moyenne" des vitesses suit une loi "normale". L'expression de la variance est égale à (l'écart type en sera la racine carrée) :

³ donc c'est aussi la vitesse au dessus de laquelle roulent 15% des vitesses (et on la notait V15 auparavant !).

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_i (x_i - \bar{x})^2$$

σ = écart type
 σ^2 = variance
 n = nombre de mesures
 x_i = valeur de la mesure
 \bar{x} = valeur moyenne des mesures

Intervalle de confiance des indicateurs au seuil de confiance de 95 % :

1 - vitesse moyenne

La vraie valeur moyenne m a 95 chances sur 100 d'être entre les deux bornes suivantes :

$$\bar{x} - 1.96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq m \leq \bar{x} + 1.96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

2 - autres indicateurs (V85, V50, etc.).

Il suffit d'appliquer la même formule que précédemment, mais n devient le nombre de périodes de mesure. On exige d'avoir au moins 30 périodes. Les périodes de mesures peuvent être réduites, 1 ou 6 minutes par exemple.

2.1.2.2 Paramètres de contexte

Dans les mesures de vitesses et surtout pour des comparaisons de type avant / après, il faut prendre en compte les variations saisonnières induites par la typologie des déplacements et par les conditions météorologiques. Outre l'instant et le lieu de la mesure, le facteur important est la météo (pluie, brouillard, vent, verglas, neige...). Les résultats d'une mesure de vitesse dépendent d'un certain nombre de facteurs dont :

- la "saisonnalité",
- l'effet de l'intensité du trafic,
- la luminosité (jour/nuit) et de façon plus générale l'heure,
- le type de jour (semaine/week-end),
- les conditions météorologiques.

La "saisonnalité" est une façon grossière de prendre en compte des différences dans le trafic et la météorologie, qui interviennent en fonction de la saison et plus généralement du mois.

2.1.3 Réponses intermédiaires

Lorsque l'on veut évaluer l'efficacité de la régulation des vitesses, on calcule à partir des mesures des paramètres permettant de quantifier les objectifs ; les réponses intermédiaires sont utiles à deux titres :

- d'une part à des fins d'évaluation, pour calculer des paramètres objectifs qui ne se mesurent pas directement
- d'autre part à des fins de compréhension des phénomènes, pour expliquer les variations des paramètres objectifs observées lors de l'activation de la régulation des vitesses à partir des mesures élémentaires effectuées

Ce sont des paramètres qui permettent de quantifier les objectifs visés par la stratégie :

- modification de la distribution des vitesses,
- vigilance des conducteurs,
- proportion d'intervalles courts (inférieurs à un certain seuil jugé dangereux),

- influence de la limitation de vitesse sur les débits,
- pourcentage d'infraction,
- nombre de manoeuvres de dépassement,
- évolution des temps de parcours,
- longueurs de bouchons, vitesses moyennes.

2.1.4 Réponses du système : actions de régulation des vitesses

Dès sa conception, une infrastructure est prévue pour être empruntée à une certaine vitesse. Les limitations de vitesse réglementaires prennent ensuite le relais (90, 110, 130 par temps sec) ; elles sont indiquées par la signalisation fixe ; la régulation des vitesses permet de pallier les limitations de la signalisation fixe :

- selon les conditions météo rencontrées, le niveau de pollution, selon l'heure, selon le type de jour ou les conditions de trafic (débit, taux de poids lourds, etc.), les vitesses réglementaires ne sont pas forcément pertinentes,
- les vitesses réellement pratiquées par les usagers ne respectent pas les vitesses réglementaires selon les caractéristiques géométriques, les conditions de trafic, ou les motifs de déplacements.

Dans une stratégie globale de « gestion des vitesses », on peut agir à plusieurs niveaux :

- infrastructures (géométrie, chaussées et accotement),
- signalisation statique (horizontale et verticale),
- campagnes d'information auprès du public,
- systèmes télématiques d'aide à l'exploitation,
- dispositifs embarqués à bord des véhicules (à terme).

Les actions que nous étudions dans ce document relèvent de la rubrique « systèmes télématiques », et en particulier des systèmes permettant d'afficher des vitesses recommandées variables (en fonction du trafic et de paramètres de contexte). D'autres actions sont également apparentées à ce type de systèmes :

- régulation d'intervalles,
- surveillance automatique.

Nous en présentons les principes ci-dessous.

2.1.4.1 Régulation d'intervalles sur autoroute [6]

On sait qu'au-delà d'une certaine densité de véhicules apparaissent des régimes instables qui nuisent à l'écoulement du trafic. Une régulation optimale consisterait donc à limiter la densité de trafic à sa valeur critique, à tout instant et en tout lieu, ce qui assurerait un débit maximal.

Pour mener à bien cette tâche de régulation, les exploitants d'autoroutes disposent de quelques moyens d'action sur les vitesses ou sur les distances inter-véhiculaires par affichage de messages sur les panneaux.

Or, il ressort de plusieurs études que la variable-clé dans ces situations de saturation ou de pré-saturation est l'intervalle entre véhicules. L'automobiliste se comporte alors comme un régulateur d'intervalle, sa tâche de conduite consistant à contrôler la distance avec le véhicule qui le précède. Dès lors, il apparaît qu'une régulation fondée **sur la notion de distance inter-véhiculaire, plutôt que sur les notions de débit ou de vitesse, serait en conséquence beaucoup plus efficace.**

Pour réguler les intervalles, nous pouvons disposer de plusieurs types d'outils :

	outils embarqués	dispositifs sur sites	
		statiques	dynamiques
Ex.	Radars	Marquage au sol	PMV

En réalité, on mesure un temps inter-véhiculaire plutôt qu'une distance. L'avantage d'utiliser la variable TIV réside dans la simplicité de sa mesure. Il est en effet beaucoup plus facile et plus précis de mesurer un intervalle de temps qu'une distance. Enfin, sur le plan théorique, le TIV est à comparer avec le temps de réaction, au sens du temps de réponse d'un sujet à un stimulus.

Un panneau situé sur un portique délivre un message lorsque deux véhicules se suivent avec un intervalle de temps jugé trop court. Les avantages de ce dispositif sont multiples : par son fonctionnement dynamique, il ne s'adresse qu'aux conducteurs concernés ; il tient compte de la vitesse pratiquée, si celle-ci est mesurée.

L'espacement entre deux véhicules consécutifs peut être appréhendé au travers de deux variables que sont le TIV et la DIV

L'utilisation des TIV permet de s'affranchir de la connaissance de la vitesse sous la condition, bien entendu, de connaître la loi de variation du TIV en fonction du DIV. Or on constate expérimentalement une relation linéaire du type :

$$\text{TIV} = a \text{ DIV} + b$$

où **a** peut être interprété comme l'inverse de la vitesse,

b varie entre 0,6 et 0,4 selon la voie.

Un système commercialisé aux USA fonctionne de la façon suivante : si l'intervalle mesuré entre 2 véhicules successifs est compris **entre 0,7 et 1,25 secondes**, un message "**DANGER**" est allumé ; le message "VIOLATION" apparaît lorsque l'intervalle est **inférieur à 0,7 seconde**, accompagné d'un avertissement sonore. L'efficacité en terme de réduction d'intervalles courts et d'accidents a été prouvée.

En Grande Bretagne, le système FTC a subi quelques modifications : l'unique message "MOVE APART" ("espacez-vous") apparaît lorsque l'intervalle est **inférieur à 1,6 seconde**. Ce système influence favorablement le comportement des conducteurs d'une manière durable à la fois dans le temps (1 an) et dans l'espace (1 à 3 km).

2.1.4.2 surveillance automatique

Dans ce type de systèmes, la détection de vitesses élevées (dépassant la vitesse limite autorisée) est couplée à une caméra qui enregistre l'image du véhicule contrevenant. Ce type de système améliore grandement la productivité de forces de police en matière de contraventions. Il semble être assez dissuasif. En revanche, son efficacité risque d'être limitée dans le temps et localisée, et il pose un certain nombre de problèmes juridiques, en particulier en France. Il exige en outre un partenariat assez étroit entre les forces de police et l'exploitant routier.

2.1.5 Paramètres réglementaires

L'efficacité des actions de régulation de la vitesse est intimement liée au respect des vitesses dynamiquement affichées, d'où l'importance des aspects réglementaires, que nous évoquons brièvement ci-dessous.

2.1.5.1 Conduite en file et réglementation

Quelles mesures préventives mettre en place ? L'information est aujourd'hui en France le mode préventif principal : par exemple, la signalisation horizontale permet à l'usager

d'évaluer les distances (deux chevrons, deux lignes en bordure d'autoroute).

Pour la signalisation verticale, on a recours aux signaux réglementaires du type B14 ou C4a.



Signal B 14

Limitation de vitesse

Signalisation de prescription

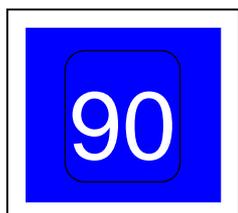
(Extrait art. 63, Livre 1 - 4ème partie)

Sur les routes parcourues par une circulation rapide, on implante plusieurs panneaux avec l'indication de vitesses dégradées par paliers de 20 km/h.

Dimensions

Gamme	Ø Disque	Couronne	Hauteur des chiffres
Normale	850	120	320
Grande	1 050	150	*
Très grande	1 250	180	*

* : Hauteur proportionnelle à la taille du panneau



Signal C4a

Vitesse conseillée

signalisation d'indication

(Extrait art. 70-3, Livre 1 - 5ème partie)

Le panneau C4a ne peut être utilisé que sur les sections faisant l'objet d'une régulation de la circulation soit par onde verte, soit par tout autre moyen. Il indique aux conducteurs la vitesse qu'il leur est conseillé d'adopter.

Ces indications ne sont que des conseils et ne sauraient engager la responsabilité de l'administration vis-à-vis des usagers, ceux-ci devant, en toutes circonstances, rester maîtres de leur vitesse en application de l'article R. 10 du Code de la Route.

2.1.5.2 Le contrôle des vitesses

La crédibilité des actions réglementaires est étroitement liée au rendement du système de contrôle des vitesses et de répression des infractions. Le niveau de surveillance des vitesses et le degré de répression policière peuvent être appréhendés à partir d'indices divers :

- la fréquence des amendes infligées (par unité de distance et de temps, et rapportée au nombre de véhicules en infraction),
- la durée cumulée des patrouilles également par unité de distance et de temps.

Toute réduction de vitesse réglementaire se traduit généralement par une baisse des vitesses. Cela peut se mesurer par :

- l'évolution de la moyenne,
- l'évolution de l'écart-type,
- l'évolution du V85.

L'efficacité de la mesure est limitée dans le temps et dans l'espace : il y a une érosion de ses effets qui est très rarement évaluée.

Pour mesurer l'efficacité d'une limitation des vitesses, il faut rechercher des variations au niveau des réponses « intermédiaires » :

- réduction du pourcentage de vitesses élevées,
- diminution de l'écart-type des vitesses, ce qui traduit une plus grande homogénéité des vitesses pratiquées,
- diminution de la fréquence des dépassements et des changements de file,
- augmentation éventuelle des temps de parcours,
- atténuation du différentiel de vitesse entre les différentes voies.

2.2 Modélisation.

2.2.1 Simulation

Pour différentes raisons, les simulations de trafic sont assez peu utilisées en pratique par les exploitants, bien que de plus en plus. A priori, elles présentent un grand intérêt pour choisir une stratégie d'exploitation avant de développer, tester et éventuellement mettre en service un système sur le terrain. Les simulations peuvent également être utiles a posteriori pour mieux comprendre et évaluer les effets des actions d'exploitation et optimiser les paramètres. En revanche, le principal obstacle demeure leur complexité et la difficulté à les calibrer. En particulier, modéliser un système de régulation des vitesses exige sans doute de travailler sur un modèle microscopique, et de simuler le comportement des conducteurs, ce qui nous semble encore dans le domaine de la recherche.

La présente étude n'a pas l'ambition de faire le point sur les modèles, et surtout les outils disponibles pour étudier les stratégies de régulation des vitesses. Nous nous limiterons ici à formuler les questions suivantes, auxquelles nous essaierons de répondre dans un prochain document (en fonction de la demande de nos lecteurs !) :

- existe-t-il des simulateurs qui permettraient de modéliser des systèmes de régulation des vitesses ?
- dans quelles conditions ces simulateurs ont-ils été utilisés ?
- comment les mettre en œuvre ?

2.2.2 Calculs élémentaires (exemple)

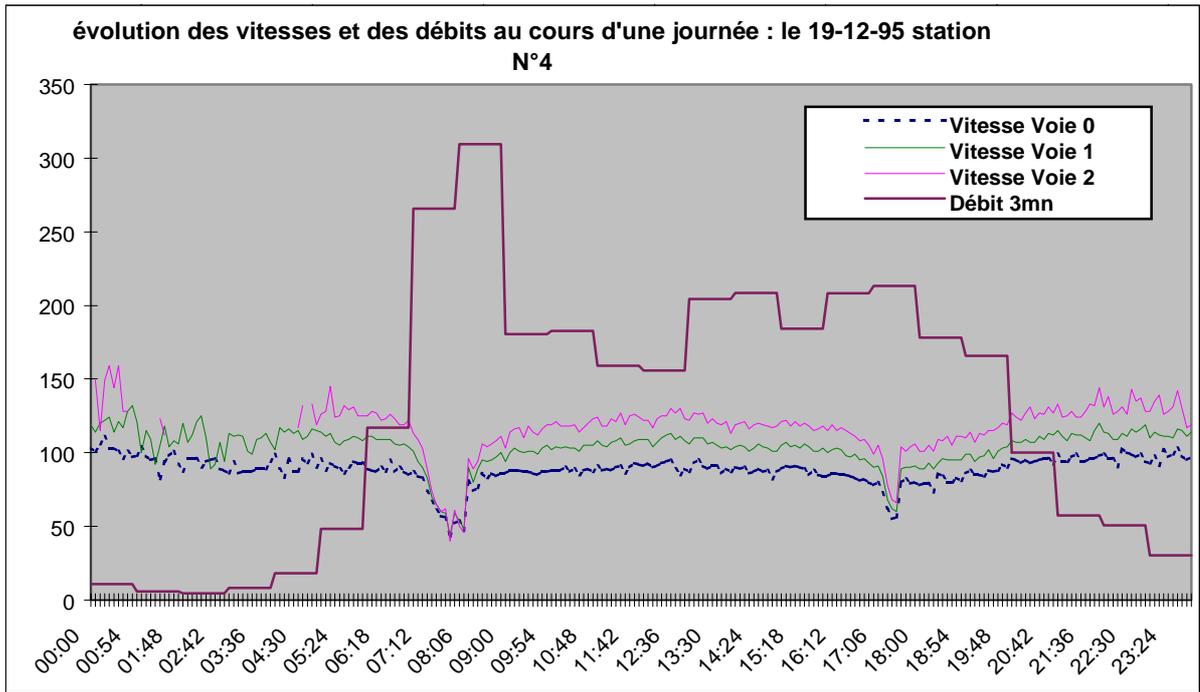
A défaut de simuler finement le trafic, on doit pouvoir être capable de raisonner avec quelques ordres de grandeur, ne serait-ce que pour mener à bien une indispensable étude d'opportunité (coûts-bénéfices) et définir un non-moins indispensable plan d'évaluation.

Là encore, ce document n'a pas l'ambition de fournir de méthodologie de calcul qui permette d'estimer les ordres de grandeur utiles à la mise en place d'un système de régulation des vitesses, car il nous manque encore un retour d'expérience suffisant.

Nous nous contenterons (avant qu'une nouvelle version de cette étude ne comble cette lacune) de donner un petit exemple à titre d'illustration.

A travers les relevés de vitesse d'une journée particulière (figure ci-dessous), on peut

faire quelques constats et envisager quelle pourrait être l'action d'une régulation des vitesses.



Tout d'abord on peut observer que l'évolution des vitesses sur l'ensemble des voies va dans le même sens : une baisse des vitesses sur une voie entraîne aussi une baisse sur les autres voies. Lorsque la chute de vitesse est importante, la vitesse a tendance à s'uniformiser sur l'ensemble des voies

- le matin, c'est très certainement l'augmentation rapide du débit qui provoque un effondrement des vitesses. La question est donc : pourrait-on en limiter les effets ?

Avec 6 200 véh/h pour 3 voies, cela nous donne plus de 2 000 véh/h par voie. Si la baisse des vitesses est inévitable, ses effets devraient quand même pouvoir être limités. Par exemple, une limitation à 80 km/h est réaliste, et cet affichage pourrait être déclenché suite à l'analyse chaque matin de la pente d'évolution des débits 6 mn

- le soir, on relève également une augmentation des débits, mais moins pointue et beaucoup plus étalée dans le temps. En observant l'ensemble des graphes, on peut en conclure que cette chute des vitesses pourrait être évitée. La question demeure : est-ce qu'un affichage préventif d'une limitation à 90 permettrait de supprimer cette chute ?

Faisons l'hypothèse (réaliste) que la régulation des vitesses éviterait cette chute, on peut alors estimer le gain de temps à :

$$\Delta t = \sum_{i,j} q_{ij} \left(\frac{1}{v_{ij}} - \frac{1}{v_m} \right)$$

- q_{ij} débit par unité de temps sur la voie i pour la période j de 6 mn
- v_{ij} vitesse constatée sur la voie i pour cette même période j
- v_m vitesse modélisée par exemple:
95 sur la voie 0, 105 sur la voie 1 et 115 sur la voie 2

Pour l'exemple visualisé ci-dessus, et pour la seule période horaire 17h-18h, le gain de

temps journalier pour l'ensemble des usagers peut être calculé à 56h.

Une extrapolation à l'année de cette section de 4 km sur la base de 200 jours ouvrables ferait état d'un gain potentiel de 11200 heures.

Il est clair que ces calculs sont très simplistes, et ne tiennent pas compte par exemple de la variabilité des temps de parcours [16].

3. ETUDES DE CAS : PLAN GENERAL D'ANALYSE D'UN DISPOSITIF DE REGULATION DES VITESSES SUR VOIE RAPIDE

De façon à faciliter des comparaisons, et pour servir de guide au montage d'autres expérimentations et in fine à la mise place de nouveaux systèmes, un plan-type est proposé pour analyser les expérimentations ou réalisations tant en France qu'à l'étranger.

3.1.1 Description du projet

- contexte local ou national, réglementation
- description du site :
 - environnement (urbain, périurbain, interurbain),
 - longueur et tracé de la section instrumentée,
 - conditions de trafics, sécurité, météo.
- objectifs initiaux, éléments déclenchants,
- type de gestionnaire : public ou privé,
- année d'installation,
- caractère expérimental ou opérationnel,
- coûts,
- références bibliographiques.

3.1.2 Stratégies

- mesure de TIV individuels, marquage au sol des DIV maxi,
- détection de bouchons en amont,
- signalisation de conditions météo dangereuses,
- affichage Vmax conseillée (par voie ou non),
- affectation de voies,
- autres types d'actions implémentées sur les mêmes équipements (en plus de la régulation des vitesses) : répression (amendes), sécurité (danger, etc.),
- politique de communication vers les usagers.

3.1.3 Système technique

- algorithmes de choix,
- aspects logiciels, intégration dans le PC, nombre d'utilisateurs,
- recueils et traitements des données : capteurs (météo, boucles, caméras, etc.),
- actionneurs (types de panneaux, de supports, implantation et interdistances),
- technologie d'affichage et/ou de communication avec l'utilisateur,
- degré d'automatisation du fonctionnement, périodes de fonctionnement,
- architecture (centralisée ou non, etc.),
- performances, disponibilité, etc.

3.1.4 Résultats

- méthodes d'évaluation,
- approche économique,
- évolution correspondante des trafics,
- évolution de l'insécurité routière,
- effets sur l'environnement : bruit, pollution,
- effets pervers (réduction d'efficacité après quelques semaines, augmentation du % TIV courts, risque de défaillance du système, mauvaise crédibilité auprès des usagers),
- problèmes concrets rencontrés.

3.1.5 Suite envisagée - Extension - Modifications

4. LES EXPERIENCES FRANÇAISES

Les premières expériences françaises ont été réalisées en France dès 1977. On peut y distinguer trois types d'expériences, qui ont été menées soit en rase campagne, soit sur voies rapide urbaine :

- ◆ les actions prévues de courte durée à l'occasion de week-end importants ou lors de départs / retours de vacances,
- ◆ Les actions permanentes sur autoroute urbaine : autoroute A7 à Marseille,
- ◆ Les expérimentations lancées à l'initiative de sociétés concessionnaires d'autoroutes.

4.1 Autoroute A 6 au Sud de Paris [3]

4.1.1 Contexte

Ces expériences de vitesses maximales et vitesses recommandées, menées en juin 1977 puis mars-avril 1979, ont duré chacune deux semaines sur l'autoroute A 6 dans le sens Province -> Paris sur un tronçon urbain de 6 km à 3 voies.

4.1.2 Système technique

La première expérience a consisté à afficher aux heures de pointe une vitesse maximum fonction du trafic, la deuxième expérience une vitesse recommandée également fonction du trafic. Le système était composé de 4 portiques échelonnés à des distances allant de 800 m à 2 km et portant 2 caissons d'affichage de vitesse. Ces portiques étaient également munis de 2 radars donnant les débits et les vitesses pratiquées sur les 2 voies extrêmes de la chaussée. Pour la deuxième expérience, le système était complété par des boucles dans la chaussée.

4.1.3 Résultats.

On a pu mesurer les résultats suivants .:

effet \ expérience	« vitesse maximum »	« vitesse recommandée »
baisse de vitesse à débit donné	- 5 km/h (soit 6%) plus forte le matin que le soir	idem
réduction de la dispersion des vitesses	- 1 km/h (soit 25%)	moins net
diminution de l'écart de vitesses entre voies	- 2,5 km/h (soit 15%) pas nette par mauvais temps	idem
diminution du % (TIV < 1'')	-40% par temps sec -20% par mauvais temps	-18% par temps sec pas net par mauvais temps

On observe également :

- une meilleure utilisation de la voie de droite (dans les deux cas, mais plus élevée pour l'affichage d'une vitesse maximum) ;

- une diminution de la fréquence des situations potentiellement dangereuses (telles que trop grande différence de vitesses entre voies). Dans le cas de l'affichage d'une vitesse recommandée, cela a pour effet de faire ralentir les usagers les plus rapides et de faire accélérer les usagers les plus lents.

4.2 Autoroute A7 à Bollène [3]

4.2.1 contexte

L'expérimentation de limitation de vitesse a lieu sur A7 en rase campagne lors des départ de vacances de 1977.

4.2.2 système technique

Les panneaux indiquant la vitesse limite de 80 km/h étaient espacés en moyenne de 2,750 km et disposés soit sur passages supérieurs, soit sur accotements ; ils étaient occultables manuellement.

4.2.3 résultats

Les résultats de cette expérience peuvent se résumer de la façon suivante :

- La capacité de l'autoroute est passée de 3 000 véh/h sans régulation à 3 200 véh/h sur 2 voies avec régulation ;
- L'augmentation de la capacité s'explique essentiellement grâce à une meilleure utilisation de la voie de droite ;
- La vitesse moyenne a baissé d'environ 3,5 km/h ;
- Les temps de parcours et le nombre de changements de voie n'ont pas varié de manière significative.

4.3 Autoroute A6 à Châlon sur Saône [3]

4.3.1 contexte

Pâques 1979 - Vendredi 6 au dimanche 8 avril 1979.

4.3.2 système technique

Affichage d'une limitation à 80 km/h.

4.3.3 résultats

Durée de l'expérience un peu courte, doublé du problème de calage des données. Les conclusions sont toutes au conditionnel, comme le confirme cet extrait :

"Globalement, cette expérience confirmerait plutôt l'expérience de Bollène 1977".

4.4 Autoroute A7 à Valence [3]

4.4.1 contexte

Départs de vacances 1979.

4.4.2 système technique

Limitation de vitesse à 80 km/h.

4.4.3 résultats

On a pu observer :

- une baisse de la vitesse moyenne de 3 à 10 km/h,
- une meilleure utilisation de la voie de droite,
- une baisse du trafic sur la voie de gauche (9 %),
- une diminution du nombre de manoeuvres de déboîtement et de rabattement.

4.5 Voies rapides urbaines des Bouches du Rhône (Marius) [12]

4.5.1 Présentation générale

Marius est le système d'exploitation dynamique des voies rapides urbaines des Bouches du Rhône.

Depuis 1976, le corridor d'entrée dans Marseille est équipé sur 10 kilomètres d'un système opérationnel de régulation du trafic. Celui-ci comprend environ une centaine de PMV de diverses technologies et une centaine de points de mesure de trafic essentiellement

à base de radars. L'ensemble de ces stations placées tous les 500 mètres sous tutelle d'un Poste Central fonctionne de façon entièrement automatique. Cet ensemble réalise une détection automatique des perturbations mobiles et des bouchons et active les PMV en conséquence.

De 1976 à 1992, le trafic a doublé et le système de régulation assure des débits atteignant 6 400 véh/h/3 voies à une vitesse de 80 km/h. Le nombre d'accidents est resté stable, soit une division du taux d'accident par deux.

Le système assure trois fonctions :

- l'alerte des usagers par affichage d'une séquence de limitation de vitesse à 90, 70, 50 km/h associée à des feux clignotants en amont de la fin de bouchon ou de l'incident,
- la régulation du flot par les mêmes affichages de limitation de vitesse, en particulier le traitement des perturbations mobiles créées par des poids lourds lents, où le temps de réponse du système (entre 20 et 40 secondes) permet de faciliter les changements de file en affichant une limitation à 70 elle-même variable de 500 m en 500 m,
- la gestion des voies par des croix rouges, flèches vertes et des flèches de rabattement à 1 000 m, 500 m et en position.

4.5.2 Stratégie

Afficher des limitations de vitesse variable revient implicitement à faire de la détection automatique d'incident ou de bouchon et revient à montrer à l'utilisateur qu'il est pris en charge. L'algorithme retenu, qui revient à afficher la vitesse moyenne du flot qui vient de passer, est sensible aux perturbations causées par les convois lents. L'affichage suit donc la perturbation et prévient l'automobiliste rapide. Cet algorithme est aussi sensible aux queues de bouchon qu'il protège par un affichage de vitesse lente, doublé d'un clignotant d'alerte. Cet algorithme est satisfaisant au niveau de la non-détection ou de la fausse alerte.

4.5.2.1 sens vers Marseille

- la capacité maximale de l'autoroute vers Marseille se situe entre 80 et 90 km/h. Il importe d'indiquer aux usagers cette vitesse dès que la demande de trafic s'intensifie,
- lorsque le trafic est fluide, le 110 est de rigueur compte tenu des caractéristiques géométriques de l'autoroute,
- pour éviter un pompage trop fréquent entre deux affichages, on convient de ne permettre un nouvel affichage qu'à expiration d'une durée de 12 secondes (paramétrable).

Il est essentiel que les indications de vitesse à 50, 70 et 90 soient des vitesses conseillées (panneaux carrés blanc sur fond bleu), le 110 restant une limitation.

A chaque cycle de 12 secondes, le PC calcule l'affichage des caissons selon les règles générales suivantes :

- le système affiche la vitesse à laquelle roule la moyenne des véhicules, sauf si cette moyenne est trop basse (< 50 km/h environ), auquel cas, le 50 + clignotant rapide est affiché préventivement sur le portique en amont lorsqu'il s'agit du

premier portique mesurant une vitesse basse et est mis au neutre si le 50 a déjà été mesuré sur le portique amont (le 70 + clignotant lent sera alors affiché sur le portique précédent),

- les indications de vitesse sont affichées progressivement : Neutre, 110, 90, 70, 50 à charge pour l'ordinateur d'assurer la progressivité du ralentissement sur les portiques en amont,
- le 90 sera affiché en cas de fort débit ou de fort taux de Poids Lourds analysé toutes les 6 minutes (paramétrable),
- pour éviter le phénomène de « pompage » bien connu des automaticiens, les seuils de déclenchement comportent un paramètre d'hystérésis ajustable. Les seuils sont spécifiques de chaque station.

4.5.2.2 sens vers Lyon

Pour l'autre sens, la forte pente conduit quelquefois les poids lourds à ralentir exagérément, ce qui freine l'ensemble du trafic.

A chaque cycle de 12 secondes, le système calcule le différentiel de la vitesse moyenne VG entre 2 portiques successifs. Selon l'importance de celui-ci, il allume le clignotant lent ou le clignotant rapide. Le clignotant rapide est toujours précédé du clignotant lent sur le portique amont.

Les seuils sont spécifiques de la station, des vitesses moyennes et des débits. Le 90/PL sera affiché en cas de fort débit ou de fort taux de poids lourds, analysés toutes les 6 minutes (paramétrable), avec des seuils différents selon la vitesse moyenne et les débits VL et PL.

4.5.3 Système technique

4.5.3.1 Technologies d'affichage

L'installation initiale a été réalisée avec des panneaux à rideau (éclairés la nuit de l'intérieur) et il faut constater que 22 ans après, 90 % de ces équipements fonctionnent encore. Une incursion a été faite dans les technologies à fibres optiques mais sans résultats convaincants. Depuis quelques années, le CETE Méditerranée et la DDE des Bouches du Rhône s'intéressent beaucoup à la technologie à cristaux liquides. Initialement limitée à de petites dimensions, cette technique permet maintenant des afficheurs de 600 mm.

4.5.3.2 Autres afficheurs

Le panneau affiche un message d'alerte "DANGER à x km" dès que la vitesse moyenne mesurée sur une station à moins de 5 km en aval est inférieure à 50 km/h et un message d'incitation au délestage dès que le retard sur un itinéraire est supérieur à 3 mn (paramétrable) ou lorsque la différence des débits entre itinéraires concurrents dépassent un seuil.

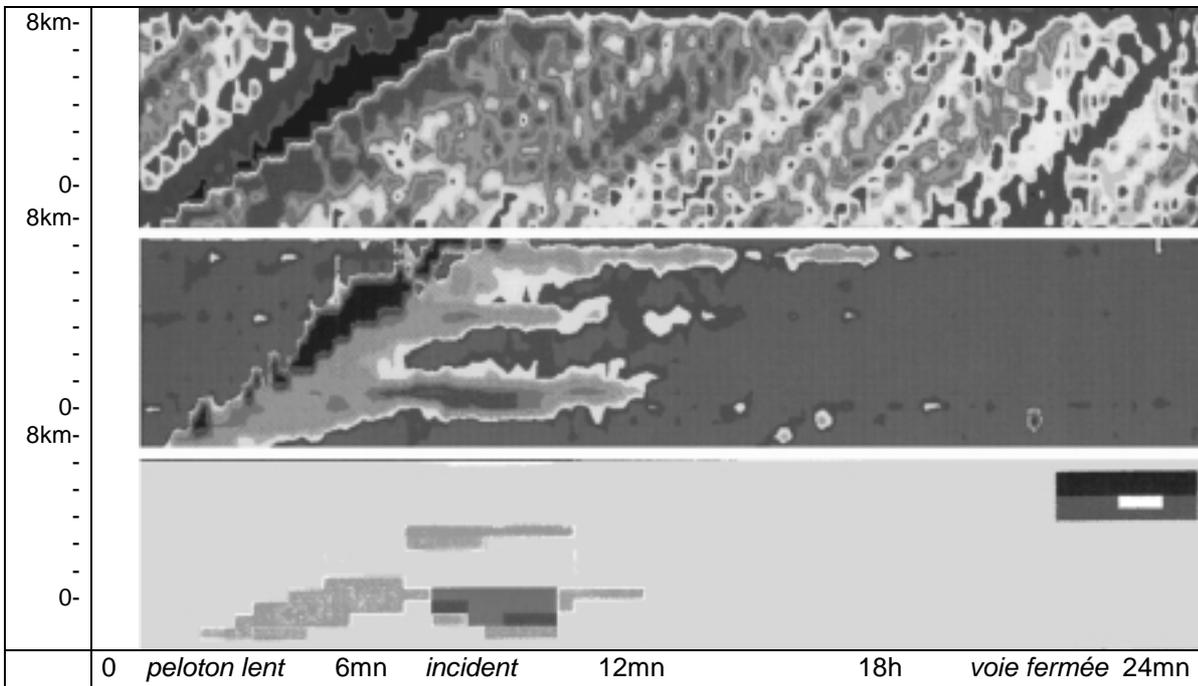
Les stations nouvelles seront équipées d'un panneau inspiré du panneau utilisé par les anglais sur les autoroutes de la région de Londres, qui permet d'alerter les usagers par des clignotants haut/bas, d'afficher des vitesses conseillées et d'affecter les voies.

4.5.3.3 représentation des données

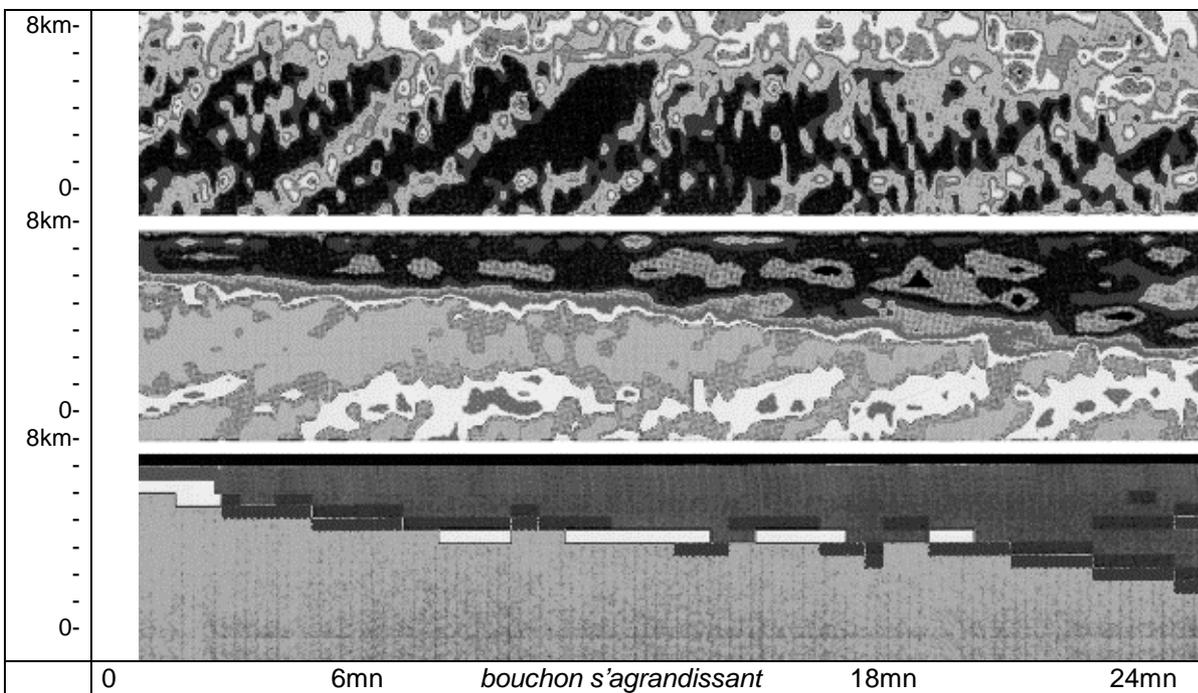
Les courbes iso-traffic sont un outil extrêmement précieux qui permet de bien visualiser les phénomènes pertinents aux différentes échelles de temps. Nous en donnons ci-dessous quelques exemples.

Notons aussi qu'un atout important du système Marius est son recueil de données, conçu

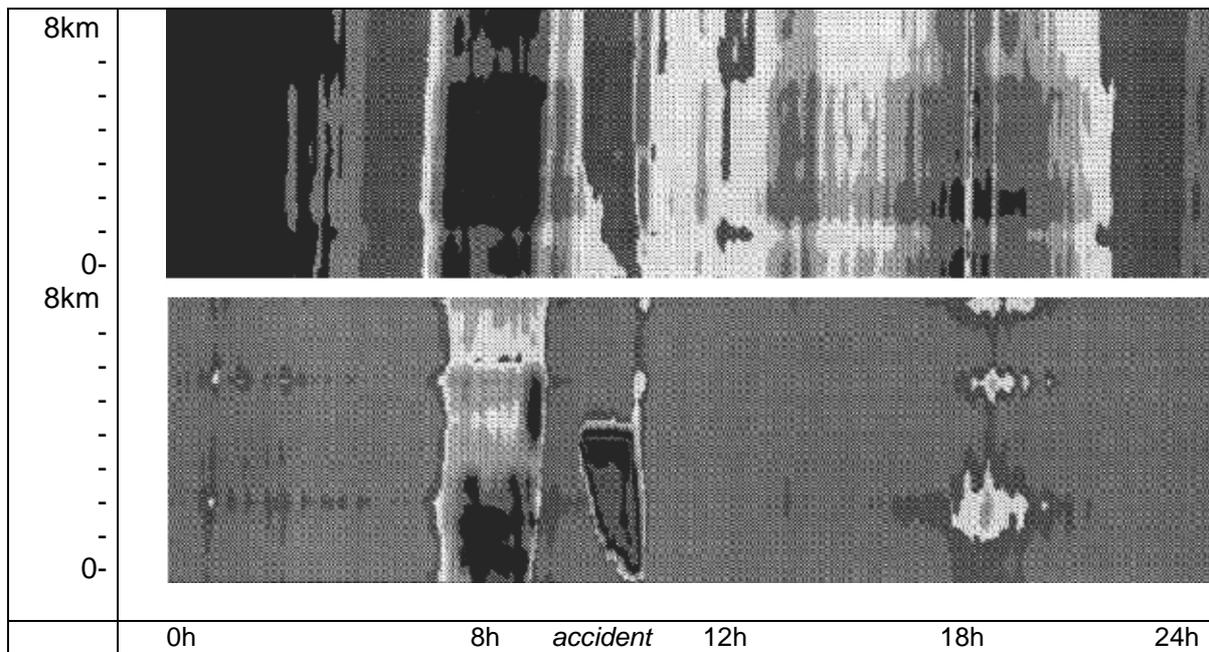
pour être capable des mesures concernant les véhicules individuels, ce qui permet d'analyser finement les conséquences sur le trafic des actions de régulation des vitesses, en particulier grâce aux intervalles TIV et DIV.



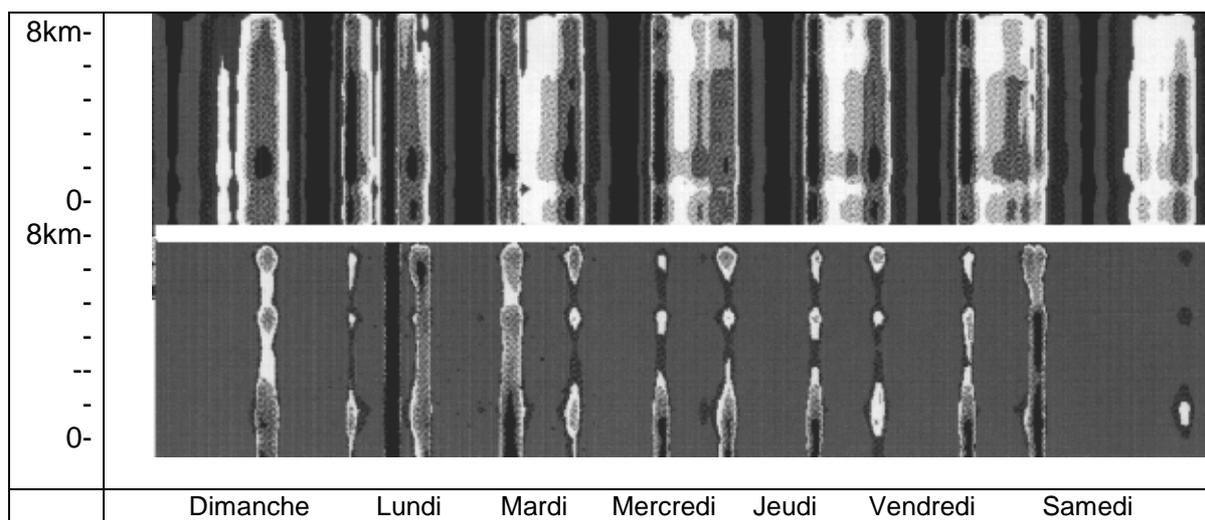
Iso-densité, iso-vitesses pendant 24 minutes (pas de 12 secondes) sur 8km.



Iso-densité, iso-vitesses pendant 24 minutes (pas de 12 secondes) sur 8km.



Iso-densité, iso-vitesses pendant 1 journée (pas de 12 minutes) sur 8km.



Iso-densité, iso-vitesses pendant 1 semaine (pas de 1 heure) sur 8km.

4.5.4 Résultats

Comme beaucoup d'autres opérations du même type, une évaluation a été réalisée peu de temps après la mise en place des panneaux avec les méthodologies de l'époque. Depuis, les gains procurés par l'affichage n'ont plus été quantifiés. Ces gains sont ressentis intuitivement et il est certain qu'en cas d'arrêt de un ou plusieurs portiques, la situation se dégrade au niveau des phénomènes d'accordéon et de la sécurité.

Les études réalisées sur le système montrent une baisse significative des vitesses lors des affichages, un écrépage des vitesses individuelles, un accroissement des intervalles courts (les usagers qui ralentissent le plus "tassent" le peloton des voitures qui les suivent), une perception meilleure d'un tronçon d'autoroute ayant une réputation de "corridor de la mort", une prise en charge conjointe améliorée par les gestionnaires et exploitants.

L'analyse de la valeur réalisée à l'occasion de la rénovation et de l'extension du système

a conclu à l'intérêt de ces trois fonctions à une seule réserve : remplacer les limitations de vitesse par des conseils de vitesse, afin de ne pas déprécier les panneaux d'obligation.

On notera que les enquêtes d'opinion effectuées auprès des usagers ont montré que les limitations de vitesse ne sont pas considérées comme telles, mais seulement en tant qu'information et qu'il n'y a donc pas lieu de chercher à les respecter. Les résultats de cette enquête recourent d'autres enquêtes qui montrent que les panneaux de limitations de vitesse fixes sont pris comme une indication et non comme une prescription. Dans cet esprit, l'utilisation de panneaux de conseil de vitesse (prévus au code de la route - type C4a) plutôt que de panneaux de limitation de vitesse est recommandée.

Il faut aussi mentionner qu'en un peu plus de 20 ans, beaucoup d'éléments sont venus renforcer ces gains : conception des véhicules, formation et comportement des automobilistes, équipements de sécurité du site, protections latérales, éclairage ...

Les algorithmes de décision mis au point au départ de l'opération fonctionnent toujours de la même façon à la satisfaction des usagers et des exploitants. Cette action de régulation des vitesses fait maintenant partie du paysage et nul ne songerait maintenant à revenir en arrière.

4.6 SAPRR A31 : Projet MELYSSA [14]

4.6.1 contexte

Dans ce projet européen auquel participait la SAPRR, le lot « WP 240 » concernait la gestion du trafic par mauvaises conditions météo, où étaient entre autres étudiés :

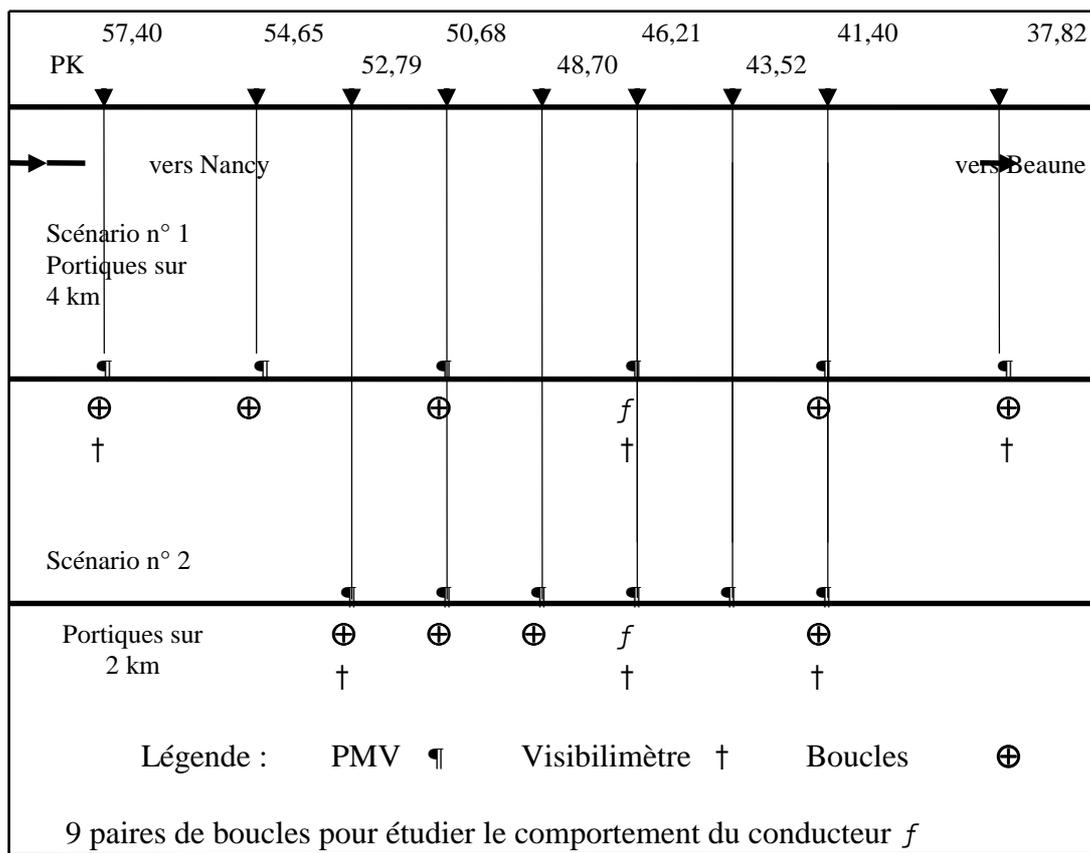
- l'affichage de limites de vitesse en fonction des conditions atmosphériques,
- le recueil et l'analyse des réactions des conducteurs en fonction des messages affichés.

Le site d'expérimentation est une section de 20 km sur A31 entre Dijon-Sud et l'aire de Dijon-Brognon ; le trafic (Moyenne Jour Annualisée) est compris entre 15 000 et 23 000 véh/j.

Dans le cadre du même projet, une expérimentation analogue a été menée en Allemagne (voir plus loin dans la description des expériences à l'étranger).

4.6.2 système technique

Sur ce site, un système expérimental appelé GECANTOUR a été testé, comprenant notamment 6 potences avec 2 PMV chacune, espacées d'environ 4 km. Les données étaient recueillies par 3 visibilimètres, 3 pluviomètres et des capteurs de trafic à doubles boucles électromagnétiques.



4.6.3 stratégie

Les limites de vitesse affichées sont les suivantes :

	110 km/h	90 km/h	70 km/h	50 km/h
Visibilité				
0 - 50 m				X
50 - 100 m			X	
100 - 150 m		X		
150 - 200 m	X			
Pluie				
légère	X			
dense			X	

4.6.4 Résultats

Ces expériences ont permis de jeter les bases d'une future gestion d'une autoroute par canton (voir paragraphe ci-dessous).

4.6.4.1 impacts observés par temps clair

Pendant les périodes de temps clair, l'affichage de la vitesse limite (130 rappel) sur les PMV a eu un impact significatif sur la vitesse moyenne et sur le pourcentage d'usagers en infraction pour les quatre premiers PMV, mais cet impact est réduit après le quatrième PMV et inexistant après le cinquième. La distance entre deux PMV consécutifs (4 km) paraît d'ailleurs trop longue.

Pendant les périodes de légère pluie, l'impact des PMV (affichage de la vitesse limite) a été significatif jusqu'à la 5ème potence. La réduction de vitesse moyenne a été comprise entre 5 et 7 km/h et le pourcentage de véhicules dépassant la vitesse limite (110 km/h) est

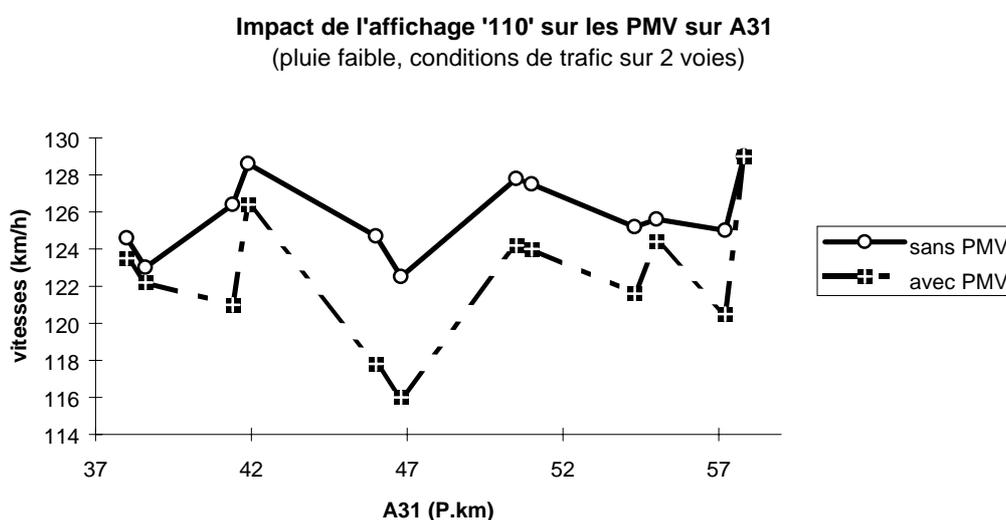
passé de 78 % sans affichage à 72 % avec affichage. Il y a donc incontestablement un impact, même s'il n'est pas suffisant pour que les usagers retrouvent un niveau acceptable d'adhérence.

Pendant les périodes de faible pluie, le pourcentage de véhicules dépassant 130 km/h (c'est-à-dire la vitesse limite par temps sec) a diminué de manière significative (de 42 % à 32 % au premier groupe de PMV et de 47 % à 35 % au troisième).

Pendant les périodes de forte pluie, les PMV ont eu un impact sur la vitesse et sur la fréquentation des voies (la voie de droite a été davantage utilisée), mais il est difficile de le prouver statistiquement, compte tenu du faible nombre de cas observés.

Par ailleurs, la vitesse retenue pendant les périodes de forte pluie, c'est-à-dire 70 km/h, a pu paraître un peu faible - et donc peu crédible - à certains usagers.

4.6.4.2 Impact de l'affichage 110 km/h en cas de légère pluie



4.6.4.3 impacts observés par temps clair

En ce qui concerne le brouillard, le nombre de cas observés est trop faible pour en tirer une conclusion pertinente.

4.7 Gestion du trafic par canton et régulation des vitesses

(Extrait de la fiche ASFA n° 11 [40])

4.7.1 Contexte

L'expérimentation GECANTOUR, a consisté à évaluer entre 1994 et 1996 un système de gestion par canton sur le contournement de Dijon (autoroute A 31 à 2 x 2 voies).

4.7.2 Stratégie

La gestion de trafic par canton d'une autoroute couramment mise en oeuvre dans les pays voisins consiste à diviser l'autoroute en courtes sections de longueurs relativement homogènes, et à mettre en oeuvre sur chacune de ces sections un système complet de gestion du trafic : recueil, traitements et action sur l'utilisateur.

Par exemple, le système MCSS (Motorway Control and Signaling System), en développement aux Pays-Bas et en cours d'adaptation au Royaume-Uni et en Suède fait état

de gains sur les accidents secondaires et de gains potentiels importants en matière de sécurité en cas de brouillard,

La régulation des vitesses en temps réel fait partie des actions qui constituent un élément de réponse au problème de circulation en accordéon, de capacité de l'infrastructure de sécurité ...

Les objectifs des actions de recherche lancées dans ce domaine de 1993 à 1995 étaient ainsi les suivants :

- définir un cadre précis de la gestion par canton,
- en décrire l'état de l'art,
- établir un programme d'expérimentation, compte tenu des objectifs d'exploitation des autoroutes françaises,
- proposer une méthode d'évaluation commune, afin de mettre en commun les résultats obtenus.

4.7.3 Description

Le site a été équipé de 6 potences portant un panneau avec pictogramme par voie, d'abord espacées de 4 km puis rapprochées à 2 km.

L'intervalle de 2 km semble un maximum à ne pas dépasser pour maintenir en attention les conducteurs. On note une baisse notable des vitesses moyennes pratiquées (4 à 5 km/h), que ce soit en rappelant la vitesse limite 130 ou en affichant 110 par temps de pluie.

4.7.4 Résultats

En cas de fort trafic, le gain sur la capacité n'est pas démontré compte tenu du nombre restreint de situations où on atteint la saturation. Toutefois, on note de façon générale une bien meilleure répartition du trafic entre les voies et une légère diminution des temps intervéhiculaires courts.

La gestion par canton permet de recommander des vitesses en relation directe avec les conditions de visibilité et de trafic ou de tracé.

4.8 Le plan vitesse à la SAPRR [66]

4.8.1 Contexte

La vitesse est un facteur présent dans un accident mortel sur autoroute. L'observatoire des vitesses mis en place à la SAPRR à partir d'une vingtaine de stations de recueil de données révèle une augmentation du niveau de vitesse pratiquée (40% au-delà de 130 km/h et 20% au-delà de 140 km/h).

4.8.2 Stratégie

La SAPRR a mis en œuvre un plan de 6 actions expérimentales pour limiter la vitesse :

- (1) réduire le nombre voies dans une zone de chantier
- (2) dispositif alarme vitesse et bandes sonores sur chantier
- (3) niches radars
- (4) communication sur la vitesse moyenne
- (5) information des contrôles radar sur FM 107.7
- (6) rappel de la vitesse limite sur PMV

4.8.3 Description

- (1) l'opération consiste à n'offrir qu'une (ou deux) voie(s) de circulation sur une zone

de chantier si le trafic le permet, sur une section à trois voies (A6).

(2) le principe est d'afficher un message au passage des véhicules au droit d'un chantier ; le dispositif comprend deux radars de mesure et un PMV, différentes configurations (avec ou sans bande rugueuse, plusieurs types de message) ont été testées.

(3) les niches sont des caissons blindés, sur terre-plein central ou accotement, destinés à abriter les dispositifs radar et photo des services de police, qui seront activés de temps en temps.

(4) à certaines sorties, les péagers remettent aux conducteurs un dépliant indiquant leur vitesse moyenne sur le trajet de 30 à 70 km parcouru, ainsi que quelques conseils et un questionnaire ; les renseignements sont strictement confidentiels.

(5) l'opération consisté à diffuser sur 107.7 FM des messages annonçant la présence de contrôle radar dès que la gendarmerie est sur les lieux et répétés toutes les 15', sur un secteur donné de 50 à 80 km.

(6) le déclenchement du message « rappel 130 » s'opère par détection magnétique 300 mètres en amont du panneau, au-delà du seuil de 140.

4.8.4 Résultats

(1) la mesure est efficace : si l'on veut faire baisser la vitesse de circulation au droit des chantiers lorsque le trafic est inférieur à 1200 véh/h, une solution consiste à ne laisser qu'une voie de libre.

(2) l'utilisation de bandes rugueuses seules, ou l'affichage de la vitesse de l'utilisateur sont deux mesures efficaces (le % de dépassement de 90 km/h passe de 80 à 40%) ; la combinaison des 2 est encore plus probante. Dans les trois cas, les vitesses supérieures à 140 km/h deviennent marginales.

(3) l'implantation d'une niche radar entraîne une réduction de la vitesse, jusqu'à 500 mètres après la niche si le flash est activé.

(4) l'accueil par les usagers et les médias est très favorable, de nombreux coupons-réponses ont été retournés avec des remarques personnelles intéressantes

(5) les mesures ne permettent pas de conclure à une diminution significative des vitesses

(6) cette mesure est très efficace et le serait sans doute davantage si on disposait d'un affichage dédié à chaque voie (permettant l'indication de la vitesse réelle du véhicule déclencheur).

4.9 Autoroute A10

4.9.1 contexte

Il s'agissait d'une expérimentation visant à atténuer les risques dus au brouillard et au verglas.

4.9.2 système technique

La signalisation de limitation de vitesse est assurée par quatre vingt quatre panneaux lumineux de 1,05 m de diamètre (panneau type B 14) utilisant la technique des fibres optiques à allumage dynamique (possibilité de clignotement), voir photo ci-dessous.



Ces panneaux sont implantés à raison de deux par sens de circulation (un en accotement, un dans le terre-plein central) tous les 1500 m en moyenne. Ils permettent l'affichage des cinq vitesses (100 - 80 - 60 - 40 - 20 selon la distance de visibilité), et de la mention "rappel". Leur intensité lumineuse est modulable en fonction des conditions d'utilisation (jour, nuit, surbrillance en cas de brouillard intense).

4.9.3 résultats

L'expérience montre que les possibilités de modulation de l'intensité lumineuse accroissent la lisibilité et par conséquent l'efficacité de cette signalisation.

Prévu initialement pour fonctionner en automatique, le système nécessite une validation manuelle avant déclenchement d'une séquence de limitation de vitesse.

Le système est également utilisé pour la gestion du trafic en dehors des périodes de brouillard pour signaler chantiers et accidents.

4.10 Autoroute A4 entre Reichstett et Brumath [42], [65]

4.10.1 contexte

Dès 1994 la SANEF a envisagé la mise en place d'une modulation des vitesses sur l'autoroute A4 au Nord-Ouest de Strasbourg entre Reichstett et Brumath.

Cette expérimentation opérationnelle à la mi 1997 se démarque des autres actions de même type :

- PMV implantés uniquement sur TPC,
- Régulation des vitesses réalisée par conseil de vitesse et non par limitation de vitesse.

La section est plus accidentogène que le reste de l'autoroute A4, mais les accidents y font moins de victimes. Près de 50 % des T.I.V. sont inférieurs à 1 seconde (soit 30 m à 110 km/h).

Le sens sortie d'agglomération aux heures de pointe a été choisi car un grand nombre d'usagers sort à Brumath, ce qui rend plus fluide les sections situées en aval.

Un des objectifs annoncé lors de la réalisation de cette expérimentation est de retarder l'échéance d'élargissement de ces sections à 2x3 voies.

L'harmonisation des vitesses pratiquées devrait également avoir pour effet d'atténuer les "coups d'accordéon" par une perception plus homogène et plus calme de l'écoulement du trafic et une meilleure anticipation des difficultés. A travers cette harmonisation, un objectif de diminution du pourcentage de temps intervéhiculaires courts est également poursuivi.

4.10.2 Stratégie ; conditions d'activation de la régulation

<p style="text-align: center;">Q > 2 700 véh/h/(2 voies) et V > 70 km/h ou T.O. > 10 %</p>
--

Chaque station locale compare la consigne reçue aux informations données par les capteurs et dispose, dans chaque intervalle de 6 mn, d'une possibilité de modifier l'affichage sur le panneau à messages variables, de plus ou moins 20 km/h par rapport à la vitesse calculée par le site central.

Vitesses conseillées : 50 - 70 - 90 - 110.

En dessous de 50 km/h est affichée la mention « trafic ralenti »

En cas d'accident ou d'incident, la régulation peut être interrompue et les panneaux sont alors utilisés pour des messages de sécurité.

En fonction des heures de pointes, la période de régulation a été fixée entre 16h et 20h.

4.10.3 Système technique

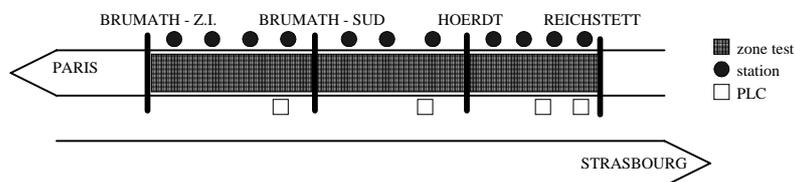
L'affichage des vitesses utilise un panneau à messages variables d'un nouveau type, installé en terre-plein central à une hauteur de 3,50 m. Ce panneau comporte un pictogramme de 1,50 m par 1,50 m sous forme de mur d'image bicolore (rouge et jaune) explicité par deux lignes de 10 caractères de 200 mm de hauteur.



L'implantation en terre-plein central permet, si besoin, d'utiliser la face arrière du panneau pour mettre un second dispositif d'affichage permettant de délivrer des informations dans les deux sens de circulation.

La régulation est décidée automatiquement par le site central d'après les informations recueillies toutes les minutes auprès des stations de mesure locales : débit Q, Vitesse moyenne, T.O. (taux d'occupation).

11 stations de comptages installées, 4 panneaux installés en première phase.

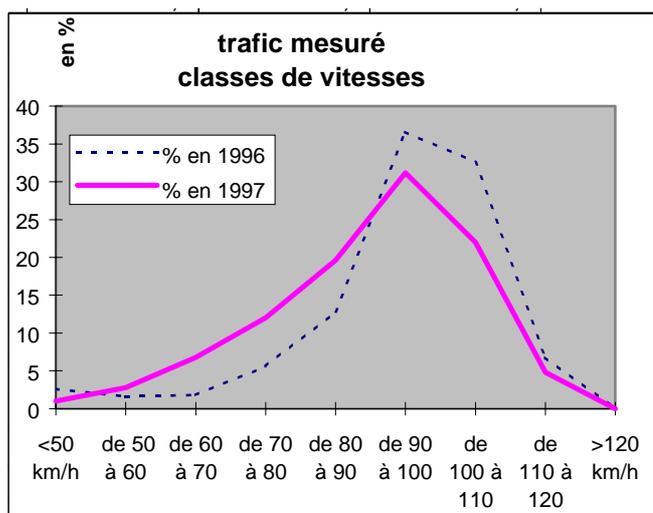


Toutes les informations et les ordres de commande sont transmis par le réseau radio (système 3 RP). Le projet a d'ailleurs nécessité la mise au point d'un dialogue par modem radio à la norme MA P 27.

4.10.4 Résultats

L'expérience s'est achevée avec le dépouillement des informations de la période octobre 1997 - janvier 1998, pour les comparer à celles de la période de référence équivalente de l'année précédente. Les conclusions figurant ci-dessous ne sont celles de l'article publié

dans la revue TEC [27]. Les conclusions définitives ont été publiées depuis [65].



Le diagramme débits-vitesses sur les données 6 minutes fait apparaître un resserrement des vitesses autour de la tranche 70-90 km/h, une diminution des points situés sous les 50 km/h, et une diminution générale des vitesses, notamment de celles de la tranche supérieure à 110 km/h.

On peut également comparer les classes de débits et constater une augmentation significative du pourcentage des débits supérieurs à 3000 vh/h (sur les deux voies).

Les résultats montrent une petite amélioration par diminution des T.I.V. inférieurs à une seconde et une augmentation des T.I.V. compris entre 1 et 5 secondes. Ces résultats doivent cependant être rapprochés de la croissance de 5,5 % du trafic et de l'évolution favorable de la distribution des vitesses pratiquées, et sont donc encourageants.

4.11 Limitation de vitesses sur A35 en cas de pic de pollution

Cette expérimentation a été mise en œuvre sur A35 (rocade Ouest de Strasbourg) dans le cadre du projet européen Euroscope.

En cas de détection de pic d'ozone de niveau 2, le service communication externe de la Communauté Urbaine de Strasbourg prévient la D.D.E. du déclenchement pour le lendemain du "plan ozone" comportant la diffusion de ces informations sur les radios locales, l'activation de messages sur les P.M.V. existants et le déploiement de banderoles au-dessus de l'autoroute sur les passages supérieurs. Le contenu du message est double :



- "**Modérez votre vitesse**", affiché sur les P.M.V. existants : portique, potence ou sur accotement,
- "**Pensez à prendre les transports en commun**". Pour cela, ils sont orientés vers les parcs-relais Tram afin qu'ils abandonnent leur véhicule au profit des transports en commun.

En cas d'atteinte du niveau 3 de pollution, la vitesse est limitée à 70 km/h à l'aide de panneaux fixes déployables. Nota : Ce niveau n'a encore jamais été atteint.

Rappelons ici quelques éléments importants liés à la loi sur l'air (publiée au JO en 97) ; des compléments pourront être trouvés dans [19].

les seuils d'alerte et les mesures

en µg par m ³	Dioxyde de soufre	Dioxyde d'azote	Ozone
1 ^{er} seuil	200 ou	200 ou	130
2 ^{ème} seuil	350 ou	300 ou	180
3 ^{ème} seuil	600 ou	400 ou	360

- étude de Plan de Déplacement Urbain pour les villes de plus de 100 000 habitants,
- mise en place de réseau de mesures dans les villes de plus de 250 000 habitants,
- information des populations,
- élaboration de plans de protection de l'atmosphère,
- obligation à terme d'avoir 20% de véhicules électriques ou fonctionnant au gaz pour les flottes captives des administrations.

5. LES EXPERIENCES ÉTRANGERES

5.1 Aux Pays-Bas

La régulation des autoroutes y est mise en oeuvre depuis le début des années 80 associée à des fonctions telles que le recueil de données, l'alerte aux usagers, la détection des incidents, l'aide à l'exploitation et à l'entretien. L'utilisation de PMV pour afficher des limitations de vitesse réduites a été également expérimentée, avec un certain succès [62]. A plus long terme, des expérimentations de systèmes embarqués de limitation de vitesse sont aussi en cours [53]

5.1.1 Les premières expérimentations

5.1.1.1 contexte

Une première démonstration a été dès 1983 sur le tronçon La Haye - Rotterdam sur les autoroutes A13, A16, A19 et A20 (30 km au total). L'objectif était de définir un système européen de communication par panneaux variables "améliorés" (indication de la vitesse à observer, de la nature et de la localisation de la perturbation).

5.1.1.2 Système technique

Des doubles boucles sont installées dans la chaussée tous les 500 m, et des portiques tous les 500 ou 1 000 m.

Des microprocesseurs localisés sur site sont utilisés pour la détection automatique des incidents et pour la gestion des indications télécommandées sur les portiques via le calculateur central. Dès qu'une vitesse recommandée est susceptible d'être affichée, une procédure d'affichage préalable sur les portiques amont est déclenchée automatiquement.

5.1.2 Autoroute A2 entre Utrecht et Amsterdam

5.1.2.1 contexte

Pour les heures de pointes, le matin vers Amsterdam et le soir vers Utrecht, les débits atteignent 2 200 véh/h/voie avec des problèmes de convergence de voies. L'objectif de régulation des vitesses mise en place en 1992 sur les 20 km de l'autoroute A2 est de réduire la congestion en cas de forte demande et donc de risque d'instabilité dans l'écoulement du trafic. Dans ce cas, on observe une tendance à rester sur la voie de gauche alors que la voie de droite est sous occupée. Les manoeuvres de changement de voie sont plus difficiles et entraînent des perturbations dues aux accélérations/décélérations brutales.

5.1.2.1.1 situation initiale constatée

	Voie de gauche	Voie de droite
Débit sur 1 mn	2 400 véh/h	1 600 véh/h
T.I.V.	1,5 s	2,5 s
% T.I.V. < 1 s	45-50 %	15-20 %

5.1.2.1.2 objectif

L'objectif principal n'est pas de réduire la vitesse moyenne, mais bien de limiter la différence des vitesses et d'aller vers une circulation apaisée. C'est aussi prévenir la congestion plutôt que de réagir ensuite. L'objectif est aussi de réaliser une meilleure répartition des trafics et une homogénéisation des vitesses entre les différentes voies de circulation. Pour cela, une vitesse limite est affichée pour chaque voie.

5.1.2.2 Stratégie

Chaque minute, la mesure de débit est comparée à une valeur haute et une valeur basse, ce qui permet de définir une vitesse. Cette vitesse théorique est ensuite comparée à la vitesse réelle des véhicules.

Après les premières expérimentations, seules sont utilisées les vitesses de 90 et 70 km/h.

La limitation des vitesses s'applique plus particulièrement lorsque l'on est entre 15 et 20 % en-dessous de la capacité.

En cas de détection d'un incident, c'est le 50 qui est affiché et pour d'autres situations, c'est le 70. En tout état de cause, la vitesse affichée doit être en accord avec la vitesse moyenne réelle des véhicules.

5.1.2.3 Système technique

Des stations de trafics équipées de doubles boucles sont implantées tous les 500m et produisent des données moyennes chaque minute, pour chaque voie (débit, vitesses ; les paramètres densité, catégorie de véhicule, et vitesses individuelles ne sont pas relevés).

La signalisation est fixée sur portique tous les 1 km environ.

Affichage des vitesses : 30-50-60-70-80-90.

Cette signalisation de prescription peut être renforcée par l'allumage de flashes.

5.1.2.4 Résultats

L'évaluation a concerné 5 aspects :

- acceptation des conducteurs,
- comportement des conducteurs,
- performance de l'autoroute (trafic),
- technique,
- durée des effets.

5.1.2.4.1 conducteurs : comportements, acceptation

Les expériences initiales faites manuellement sur 2 semaines ont démontré une baisse de 50 % des "coups d'accordéon", la vitesse moyenne, la répartition entre les voies, le T.I.V. moyen ont été à peine modifiés mais le trafic était plus stable du fait de la diminution du pourcentage de T.I.V. trop court : < 1 s.

1 300 conducteurs furent interrogés 5 mois après le démarrage du projet. Une grande majorité dit avoir ajusté son comportement et sa vitesse et reconnaît les améliorations en termes de confort (tranquillité). 20 % disent ne pas être familiarisés avec l'objet de la signalisation.

<u>Résultats</u>				
	Section 3		Section 4	
Vitesse	Sans affichage	Avec affichage	Sans affichage	Avec affichage
Vitesse	94,3	91,4	97,2	92,2
% T.I.V. < 1 s	41 %	40 %	44 %	36 %

Du fait de l'absence de mesures spécifiques, les effets sur le comportement des chauffeurs de poids lourds n'ont pu être démontrés.

5.1.2.4.2 durabilité des effets

Une seconde évaluation menée 6 mois après la première montre une baisse des effets mais ceux-ci restent positifs.

5.1.2.4.3 paramètres trafic : capacité de l'autoroute

Les différences mesurées sont très faibles et aucun effet sur la capacité n'a pu être démontré.

5.1.2.5 suites données à cette expérimentation

Cette stratégie n'est pas un instrument pour supprimer la congestion et les bouchons, mais se révèle très utile pour des zones où le trafic est pulsé et où le comportement des usagers participe à l'insécurité.

Les effets peuvent être renforcés par d'autres mesures telles que la régulation d'accès.

Le système a été étendu à environ 200 km d'autoroutes hollandaises.

Le statut de la vitesse limite affichée a ensuite été modifié d'un **conseil vers une obligation**.

Mais contrairement à la Finlande, il n'est pas défini d'actions de régulation des vitesses en cas de mauvais temps ni d'accident.

5.2 Limitation de vitesse et météo en Finlande [20]

5.2.1 Contexte



En raison de la rigueur du climat qui règne dans l'extrême nord de l'Europe, la Finlande a accordé une grande priorité à la technologie des stations météorologiques routières automatiques qui met en oeuvre des interventions de service hivernal et de systèmes d'information à l'usage des automobilistes.

Dans la partie sud de la Finlande en particulier, les variations météorologiques sont très rapides et fréquentes tout au long de l'hiver. Les statistiques finlandaises sur la sécurité montrent que le risque d'implication des automobilistes dans un accident est vingt fois plus élevé sur route verglacée que sur route sèche.

Le principal objectif d'une signalisation routière variable selon les conditions météorologiques est d'adapter les limitations de vitesse appliquées en hiver en fonction de l'état des routes.

Dès 1994, la Finnish National Road Administration (Finnra) a mis en place un tronçon routier conçu pour expérimenter un système de signalisation variable en fonction des conditions météorologiques. Cette section d'essai, longue de 14 km, a été aménagée sur l'autoroute E 18 et fait partie de la route à grande circulation qui relie la Finlande à Saint-Pétersbourg en Russie.

Une démarche nationale pour déployer des systèmes de limitation de vitesse variable adaptés à chaque type de route est en cours [54].

5.2.2 Système technique



Le tronçon expérimental est équipé de 36 P.M.V. de limitation de vitesse et de 5 P.M.V. permettant un message littéral (10 lignes de 10 caractères) + un pictogramme triangulaire qui fournissent des renseignements sur les conditions météorologiques et la température de la chaussée. Ces signaux d'indication peuvent également transmettre des informations concernant les accidents et les chantiers.

En temps normal, la vitesse sur le tronçon routier expérimental sera limitée à 120 km/h en été et à 100 km/h en hiver. Toutefois, au cours du programme d'essai, cette vitesse limite sera modifiée et fixée selon l'état des routes à 80, 100 ou 120 km/h.

Les panneaux sont de technologie fibre optique. Le recueil de données est composé de 2 stations météo routières équipées de visibilimètres à dispersion et qui fournissent des données toutes les 5 mn, ainsi que de capteurs de vitesse à boucles électromagnétiques.

5.2.3 Résultats

5.2.3.1 évaluation [64]

Plus de 90 % des automobilistes interrogés sur la limitation de vitesse en vigueur sur le tronçon qu'ils venaient de parcourir s'en sont parfaitement souvenus.

Durant l'hiver 95-96, le 80 a été affiché pendant 21 % du temps alors que durant l'été il n'a été affiché que pendant 3 % en cas de risque d'aquaplanage.

	Pourcentage de temps d'affichage	
	Été	Hiver
100 km/h	20 %	
80 km/h	3 %	21 %

La limitation des vitesses a été utilisée au total pendant 26 % du temps.

590 Finlandais ont été interrogés. Ils ont bien vu les panneaux. 90 % se rappellent les avoir vus.

- 66 % ont vu le triangle.
- 40 % ont modifié leur comportement.

En hiver, lorsque l'affichage de la vitesse passe de 100 km/h à 80, la vitesse moyenne baisse de 3,4 km/h, et baisse encore de 2,5 km/h en cas de contrôle.

Le couplage d'une information "glissance" avec la limitation de vitesse accentue encore la baisse de vitesse moyenne de 1,3 km/h.

En été, les résultats sont les suivants lorsqu'il y a un risque d'hydroplanage.

Affichage	120 ---> 100	120 --> 80
Baisse de la Vitesse moyenne	- 5,6 km/h	- 7,4 km/h

Le ratio coûts/bénéfices est d'environ 0,6.

5.2.3.2 Problèmes rencontrés

- Répression par la police qui voudrait connaître la vitesse affichée en temps réel,
- Effets pervers quand le panneau n'affiche rien, les automobilistes pensent qu'il n'y a pas de danger alors que le système peut simplement être défaillant
- lorsque la visibilité est très faible et que la vitesse recommandée par les PMV peut être supérieure à celle qu'auraient adoptée les automobilistes, qui accélèrent en suivant la recommandation donnée par le panneau [63]
- Sécurité propre du système à affiner : logiciel, matériel, télétransmissions ...

5.3 Au Royaume-Uni

Depuis 1970, les expériences réalisées au Royaume-Uni sur les autoroutes M4 et M1 sont nombreuses avec de petits panneaux placés soit sur accotement soit sur portique.

L'information est plutôt une vitesse recommandée : 60 mph ou 50 mph (75 km/h) ou moins. La technologie des panneaux permet d'afficher aussi d'autres messages tels que coupures de voies, affectation de voies, flèches de rabattement.

Le réseau autoroutier anglais est découpé en 5 zones de régulation commandées chacune par un centre d'exploitation recevant les informations par le réseau d'appel d'urgence et les communications radio de la Police et gérant, au moyen d'un ordinateur, les signaux autoroutiers de la zone (plusieurs centaines de kilomètres, panneaux espacés en moyenne de 2 km à 3 km en rase campagne, 1 km en zone urbaine, actuellement 1500 km sur les 1900 km d'autoroutes anglaises sont ainsi équipés).

Ces panneaux sont utilisés pour présignaler les travaux, les accidents, séquences de ralentissement, neutralisation de voies, pour réduire les vitesses en cas de mauvaises conditions météorologiques, d'une façon générale dans un but essentiellement de sécurité.

Notons enfin qu'une étude anglaise de 1980 a conclu que l'indication de limitation de vitesse (variable) n'a qu'un effet réduit sur la vitesse moyenne, sauf lorsque la raison de cette limitation est clairement comprise des usagers.

5.3.1 Limitation de vitesse sur la M25 à Londres

5.3.1.1 Historique

L'information des usagers sur M 25 fut d'abord réalisée au moyen de panneaux à matrice de lampes situés sur le terre-plein central tous les 2 km sur les sections à 3 voies et situés sur portique tous les 500 m sur les sections à 4 voies.

Ces panneaux à deux faces, permettent de traiter les 2 sens de circulation avec un seul équipement ; ils sont dotés de 4 feux orange clignotants et peuvent indiquer des mentions de vitesse limite recommandée (10 à 60 mph, par pas de 10), d'affectation de voie et de fin de prescription ; la zone de Godstone en comporte environ une centaine. Signalons que l'ensemble des autoroutes urbaines et interurbaines britanniques (soit plus de 2 000 km) est équipée de ce type de panneaux. Il est aussi à noter qu'il n'existait pas en 1981 de recueil de données automatiques et que des bornes RAU sont implantées tous les km.

La commande de ces panneaux se faisait en "manuel assisté". Le premier panneau situé à l'amont d'une perturbation détectée est activé manuellement. Le système complète ensuite automatiquement la séquence d'affichage. Un véhicule d'intervention va ensuite se placer à la fin du bouchon et se déplace avec ce dernier.

5.3.1.2 Description du projet actuel



L'Angleterre a lancé en août 1995 une expérience de panneaux à messages variables (P.M.V.) pour améliorer le débit de l'autoroute M 25 qui fait le tour de Londres à une vingtaine de kilomètres du centre sur une section de 22 km dans le quart Sud-Ouest entre deux importants échangeurs avec l'A 3 et la M 4. La section concernée supporte plus de 200 000 véhicules par jour sur 2x4 voies. L'objet était de réduire la vitesse de façon obligatoire aux heures de pointe.

Le système est couplé à une caméra de contrôle automatique qui prend des photos des contrevenants. Cette mise en oeuvre a nécessité une approbation du "Home Office" et une collaboration avec la police.

La décision a été prise au vu des résultats obtenus en Allemagne faisant état d'une réduction de 30 % des accidents, voire 50 % sur certaines sections.

5.3.1.3 Système technique

Les panneaux de limitation de vitesse sont installés sur portique ainsi que les caméras de contrôle.

La mesure des vitesses est réalisée à l'aide de boucles électromagnétiques (Système MIDAS) implantées tous les 500 m sur chaque voie de circulation.

Ces capteurs permettent également une analyse des débits T.I.V./T.O. des basses vitesses et des bouchons se produisant suite à un accident.

Les vitesses affichées sont 60 et 50 mph et 40 mph en queue de bouchon, mais en cas d'accident ou de congestion grave, il n'y a plus d'affichage.

La mise au point des algorithmes de régulation a duré de septembre 95 à avril 96. Le système a ensuite pu être évalué grâce notamment aux données collectées automatiquement par le système MIDAS.

5.3.1.4 Résultats

5.3.1.4.1 Premiers résultats enregistrés avant 90

Réduction de vitesse significative mais faible de 4 à 9 %.

La réduction de vitesse constatée varie selon les sites et selon les limitations affichées entre 5 et 9 %. La moyenne se situe autour de 7-8 %.

5.3.1.4.2 Résultats récents

Les automobilistes respectent bien ces règles et le taux de vitesses excessives a été réduit de façon importante. L'utilisation des différentes voies de circulation s'est trouvée améliorée.

Le trafic sur la voie la plus proche de la BAU a augmenté de 15 % (voie de gauche en Angleterre et voie de droite en France).

Les D.I.V. sont plus uniformes, avec peu de D.I.V. courtes (donc potentiellement dangereuses), et moins de D.I.V. trop longues. En conclusion, le trafic est plus apaisé.

Pour la première année d'expérimentation, il est fait état d'une réduction de 30 % des accidents corporels et de 25 % des accidents matériels.

Une enquête postale réalisée auprès de 1 600 conducteurs montre que 60 % des usagers ont constaté des améliorations et seulement 10 % pensent que cela dégrade les conditions de trafic. Plus des 2/3 voudraient voir le système étendu à d'autres parties saturées du réseau. Les usagers professionnels jugent également qu'il y a des améliorations.

La baisse de pollution n'a pu encore être confirmée mais ne semble pas faire de doute. Durant la première année d'expérimentation, les débits ont augmenté de 1,3 % à l'heure de pointe du matin et de 3,7 % à l'heure de pointe du soir.

Après une expérimentation uniquement devant les heures de pointes, l'affichage des vitesses limites a été étendu à toutes les heures.

5.4 En Allemagne

Les premières expériences ont eu lieu dès 1962 sur l'autoroute Munich-Salzburg, l'intervalle entre panneaux était environ de 2 km. A la suite du succès de ces premières expériences, le système a été amélioré par une télécommande et l'affichage de limitation de vitesse en fonction des débits

Un autre type d'opération et qui fait figure d'exemple en Allemagne, est l'installation d'avertissement et de protection de queue d'Aichelberg sur la Bundesautobahn A 8 Stuttgart-Münich (2x2 voies). L'opération, qui a débuté à Pâques 1976, consiste à afficher automatiquement des indications de vitesse 100 km/h et la mention Bouchon (STAU) sur 15 portiques disposés tous les 500 mètres sur la chaussée en direction de Munich à l'amont du viaduc d'Aichelberg, cause de congestions fréquentes et dangereuses. Le système d'affichage est à fibres optiques. Il y a 18 points de mesure, chacun composé de 2 boucles/voie. La mention STAU est affichée sur le portique directement en amont dès que la vitesse tombe en-dessous de 25 km/h. La séquence d'affichage est la suivante : 60-80-100.

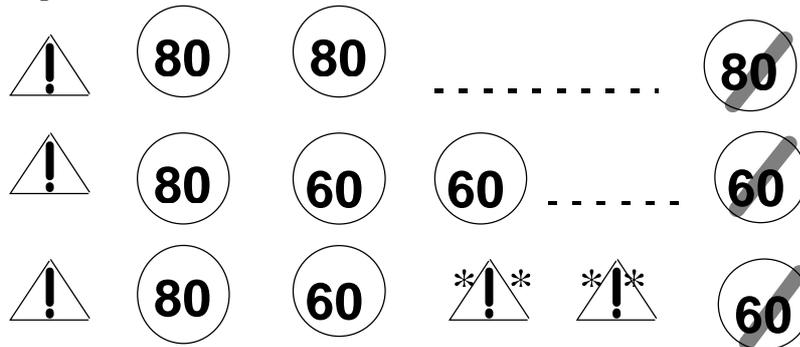
D'autres expériences ont eu lieu en Allemagne, et le tableau ci-après en dresse un état.

Localisation	Type	Année de mise en service	Longueur concernée
A 8 Holzkirchen-Münich	Régulation de vitesse	1965 refondu en 1976	30 km
A 3 Dernbach-Heumar	Régulation de vitesse Recueil de données	1974-1976 1970-1973	15 km 80 km
A 46 Düsseldorf-Sonnborn	Régulation de vitesse	1980	20 km
A 81 Pleidelsheim-Hopfigheim	Régulation de vitesse	1972	4 km
A 3 Hunxe	Régulation de vitesse	1968	2 km
A 8 Aichelberg	Avertissement de bouchon	1976	10 km
A 8 Irschenberg	Avertissement de bouchon	1979	3 km
A D Neuss	Avertissement de bouchon	1978	2 km
A 5 Karlsruhe-Dürlach	Avertissement de bouchon	1980	8 km

5.4.1 La régulation d'itinéraires de la Ruhr (Münster-Wuppertal)

Dans la zone de régulation d'axe (2x2 voies) sur l'autoroute A43, l'objectif est de stabiliser l'écoulement en affichant de vitesses recommandées, et interdiction de dépassement par les PL. Un panneau variable à fibre optique est installé par kilomètre et par sens.

Une zone de 12 km sur l'autoroute A45 dans une région sujette au brouillard est équipée de 54 panneaux à fibre optique et 8 (bientôt 15) stations de mesure du brouillard. La séquence de panneaux est la suivante, en fonction des distances de visibilité mesurées :



5.4.2 A9 de Munich vers Nuremberg

5.4.2.1 contexte



Les limitations de vitesses affichées à l'aide de panneaux B 14 au-dessus de chaque voie font partie d'un ensemble de signaux dynamiques dont l'objectif principal est de répartir les trafics entre plusieurs itinéraires, d'aider à l'exploitation sous chantier et d'afficher les principaux signaux du Code de la Route. Compte tenu de l'existence d'un réseau maillé, l'opération initiale est organisée en vue de proposer des déviations et de réaliser une exploitation optimale des différentes branches.

5.4.2.2 système technique

Sur les 51 km de tronçon autoroutier à 2x3 voies sont installés :

	Vers le Sud	Vers le Nord
Portiques	25	5
Stations de trafic	33	22

La visibilité est mesurée par 11 capteurs de brouillard. Un panneau de limitation de vitesse est installé au-dessus de chaque voie. Deux panneaux supplémentaires sont positionnés entre, conformément à la réglementation allemande.

5.4.2.3 Stratégie

La commande des panneaux est basée sur une prévision des débits et des encombrements qui peuvent résulter d'une demande supérieure à l'offre. Les paramètres utilisés par l'algorithme de commande sont les débits (VL et PL), les vitesses

(individuelles, moyenne, écart type) et des données sur l'environnement.

Le choix d'itinéraires de déviation est basé sur le calcul global de gain de temps et de consommation de carburant, en distinguant VL et PL.

Sur chaussée humide, il est aussi relevé des vitesses excessives ou inadaptées, ce qui justifie le rappel de limitation de vitesses.

Le calculateur permet une assistance à l'opérateur pour la définition d'une séquence d'affichage et la validation des mesures proposées.

5.4.3 autres sites allemands

5.4.3.1 A5 entre Francfort et Hambourg (premiers résultats enregistrés avant 90)

La proportion de TIV courts (< 0,75 s) est passée de 10 à 6 % sur la voie lente et de 21 à 18 % sur la voie rapide.

Le nombre d'accidents a aussi baissé dans des proportions importantes sur des durées d'observation de 2 ans.

Après mise en oeuvre d'une télécommande et l'affichage de limitation de vitesse en fonction des débits, la capacité s'accroît. En effet, la limitation de vitesse procure une plus grande stabilité à l'écoulement. On relève le paradoxe que dans les domaines d'écoulement à forte concentration, une limitation de vitesse conduit à une vitesse moyenne plus élevée que celle qui s'établirait aux mêmes concentrations en l'absence de limitation.

5.4.3.2 autoroute Munich - Salzbourg

Les limitations de vitesse sont observées (en tolérant 10% de dépassement) par une large majorité d'usagers.

Les dispersions des vitesses ainsi que les différences de vitesse entre véhicules successifs diminuent, ce qui est cohérent avec l'augmentation de stabilité évoquée plus haut.

La proportion des intervalles de temps trop courts diminue, ce qui fait baisser la probabilité d'accidents.

L'exemple de l'autoroute Munich-Salzbourg montre l'effet positif sur la sécurité d'un tel dispositif puisque sur deux périodes de 1 an (1964 et 1966), l'observation des accidents survenus lors des retours de week-ends fait apparaître une augmentation sensible dans le sens Salzbourg non régulé (79 à 92) et une diminution dans le sens Munich régulé (146 à 131)."

Cependant, après une analyse fine des conclusions, l'IRT remarque :

"La conclusion selon laquelle la régulation de vitesse a augmenté la capacité de la chaussée Salzbourg-Munich nous semble donc hâtive et insuffisamment fondée. Il est possible que cette conclusion soit juste mais les mesures exposées dans l'étude ne permettent pas de l'asseoir en toute rigueur. C'est donc à tort que l'on s'est appuyé dans le passé sur [ces] courbes [...] pour affirmer que la régulation de vitesse augmentait la capacité sur autoroute. Par contre, il est possible que la régulation des vitesses, homogénéisant l'écoulement du trafic et diminuant la probabilité qu'une perturbation fasse baisser le débit."

5.4.3.3 A15 Cologne - Francfort

Une expérience de limitation de vitesse dans la Province de Hesse sur l'Autoroute A15 entre Cologne et Francfort en octobre 1972 a permis d'obtenir des résultats intéressants.

On constate que l'affichage des vitesses limites fait ralentir les usagers en moyenne de 10 km/h sur les voies extrêmes et 5 km/h sur la voie de droite. Une forte proportion d'usagers est en infraction (les ¾ sur voie de gauche, la moitié sur voie du centre).

On constate donc non seulement une diminution importante du nombre des accidents, mais aussi de leur gravité, tant du point de vue dommages matériels que dommages humains. Sans doute cet effet est-il à mettre autant au compte d'une augmentation de la vigilance que du

ralentissement observé.

5.4.3.4 Expérimentation « brouillard » sur l'axe Stuttgart - Munich

Dans le cas du projet européen MELYSSA (voir plus haut, expérimentation sur A31 en France), l'autoroute A8 (Stuttgart - Munich) entre Hohenstadt et Ulm a fait l'objet d'une expérimentation en Allemagne, dans une zone fortement sujette au brouillard, avec des nappes de brouillard "mouvantes" (MJA : 50 000 véh/jour).

Sur 44 km sont implantés 45 points de mesure, avec 210 boucles électromagnétiques, 20 détecteurs de brouillard, 12 stations météo, 43 portiques avec en tout 132 PMV, ainsi qu'une unité de commande au centre de contrôle du trafic de Ulm/Dornstadt.

La comparaison a été faite entre 1991 (avant installation du système, en 1992) et 1993 (après installation) ; sur la section considérée, le nombre d'accidents a décliné de plus de 30 %, avec une réduction concomitante de plus de 40 % du nombre de blessés et de tués (à noter que, pendant la même période, le nombre d'accidents total, sur l'ensemble des routes du Bade-Württemberg, a diminué d'environ 10 %).

La diminution la plus spectaculaire a été observée par temps de brouillard : plus de 85% de réduction du nombre des accidents. A noter encore qu'une analyse coûts/avantages a été faite sur cette section. [61]

5.5 Les États-Unis

5.5.1 Détroit (1967)

A notre connaissance, les États-Unis ont procédé à une expérimentation de limitation de vitesse variable dès 1967 à Détroit.

Il s'agissait d'une section de 3,2 miles de longueur comportant des portions à 3 et 4 voies. L'équipement consistait en 21 portiques (10 dans un sens, 11 dans l'autre) avec panneaux pouvant afficher des vitesses variables allant de 20 à 60 mph (par pas de 5 mph) .

Cette expérience a montré que :

les automobilistes réduisaient un peu leur vitesse mais pas jusqu'à la vitesse indiquée, la régulation de vitesse n'augmentait pas le débit aux goulots saturés.

L'expérience, jugée non concluante, n'a pas eu de suite et semble avoir entraîné l'abandon général aux États-Unis de ce mode de régulation. Il semble aussi que les usagers n'aient pas bien interprété les messages de limitation de vitesse.

5.5.2 New Jersey

Un autre dispositif a toutefois été installé sur autoroute à péage (turnpike) dans le New Jersey.

Tous les 3 km, des panneaux (123 au total) peuvent afficher plusieurs mentions telles que congestion, réduisez votre vitesse, accident, brouillard, travaux... Les panneaux de limitation de vitesse affichent automatiquement des vitesses allant de 5 en 5 miles, 30 à 55 miles, par heure. Ces panneaux sont à néon ou à palettes magnétiques, installés sur portique ou sur le côté droit.

5.5.3 Réflexions en cours

Les américains s'intéressent de plus en plus à la gestion des vitesses, et aux dispositifs de contrôle automatique des excès de vitesse, comme en témoigne par exemple un état de l'art récent des pratiques européennes [56]. Le Congrès américain a supprimé la limitation de vitesse nationale en 95, ce qui de fait a rendu les états responsables des limitations sur le réseau national et a renouvelé l'intérêt sur la question de la gestion des vitesses ; en pratique, tous les états sauf

Hawaii ont augmenté les vitesses limites autorisées. Une étude du Transportation Research Board va paraître en 99 pour faire le point [58].

5.6 au Japon

Les autoroutes y sont très saturées et le trafic est considéré comme dense lorsque la vitesse descend en-dessous de 40 km/h. En-dessous de 20 km/h, la situation de bouchon est constatée et affichée sur les panneaux lorsque la vitesse descend.

Il n'y a pas d'affichage de vitesses variable à notre connaissance ; le Japon présente par ailleurs la spécificité d'utiliser des panneaux diagrammatiques.

6. SYNTHÈSE DES EXPÉRIMENTATIONS

6.1 Des conditions d'expérimentation très variées

En réalité, peu de réalisations se ressemblent et chacune se distingue par un élément ou un résultat particulier.

contexte	expérimentation limitée dans le temps
	expérience provisoire devenue permanente
	système opérationnel
objectif	améliorer la fluidité et le confort
	répressif (faire respecter les limitations)
réseau	autoroute urbaine non concédée
	autoroute interurbaine concédée
niveau de trafic	fluide la plupart du temps
	congestionné plusieurs heures par jour
	saisonnier
type de trafic	journalier pendulaire
	migration saisonnière des vacances
	grand transit
conditions météo	pluie
	neige
	verglas
	brouillard

6.2 Une première synthèse réalisée dès 1982

Une première synthèse de ces systèmes a été réalisée en 1982 par l'IRT (devenu depuis l'INRETS) a permis de tirer les conclusions suivantes :

Les diminutions de vitesses observées sont de l'ordre de :

- 4 à 6 % en France,
- 7 à 13 % en Grande-Bretagne, où ces systèmes sont très répandus,
- 8 à 20 % en Allemagne, où plusieurs installations fonctionnent depuis 1960.

Aux Pays-Bas, la régulation des vitesses est utilisée sur une grande échelle, alors qu'aux États-Unis, suite à l'expérience non concluante à Détroit en 1967, la stratégie a été plus ou moins abandonnée jusqu'à récemment.

La vitesse moyenne se situe toujours au-dessus de la vitesse affichée (de 10 à 26%), le pourcentage d'usagers dont la vitesse dépasse la vitesse affichée varie de 17 à 57 %.

L'obéissance est améliorée sensiblement par adjonction de feux clignotants ou d'une mention explicative.

La régulation de vitesse assure un effet de stabilisation de l'écoulement en diminuant la variabilité des vitesses dans le temps et dans l'espace.

Ces expériences concluent toutes à une amélioration de la sécurité qui ne s'explique pas

uniquement par la diminution des vitesses :

- Augmentation de la vigilance et mise en éveil grâce à l'affichage,
- Modification générale des comportements,
- Amortissement des fluctuations aléatoires de l'écoulement,
- Diminution des situations potentiellement dangereuses,
- Diminution du nombre d'accidents secondaires,
- Diminution de la congestion en durée et en nombre.

6.3 Synthèse générale

On constate bien quelques divergences dans l'appréciation des résultats, mais au travers des conclusions, on retrouve un noyau dur de bonnes raisons qui pourraient se résumer par un qualificatif de plus en plus utilisé pour le milieu urbain, celui de "**circulation apaisée**". De plus, en analysant ces résultats de façon un peu plus détaillée, on s'aperçoit que chaque expérimentation met en avant un résultat particulier.

On retrouve souvent les avantages suivants :

- **Écrêtement des vitesses trop élevées,**
- **Homogénéisation des vitesses entre les différentes voies,**
- **Diminution du nombre de T.I.V. courts,**
- **Amortissement des fluctuations aléatoires de l'écoulement,**
- **Diminution du nombre de manœuvres de dépassement,**
- **Meilleure utilisation de la voie de droite,**
- **Diminution des accidents (surtout des accidents secondaires).**
- **Diminution des congestions secondaires,**

6.3.1 Baisse des vitesses

Toutes les expérimentations mettent en avant une baisse des vitesses moyennes. Cette baisse se situe entre 2,5km/h et 5km/h voire plus (jusqu'à 10km/h annoncé dans certaines études). L'homogénéisation des vitesses est citée par tous : le trafic est qualifié de « plus calme », « moins pulsé ». L'homogénéisation constatée est due au ralentissement des véhicules les plus rapides, mais aussi à l'accélération des véhicules les plus lents.

6.3.2 Respect des vitesses affichées

Les vitesses pratiquées sont toujours au-dessus des vitesses affichées. La tolérance semble être d'environ 10%.

6.3.3 Évolution des T.I.V

Il subsiste un doute sur l'évolution des T.I.V. courts. La majorité des études mentionnent une diminution des T.I.V. courts, sauf à Marseille où l'on a observé l'inverse. L'explication donnée est que certains véhicules ralentissent pour respecter les vitesses affichées, ce qui a pour effet de resserrer les pelotons et donc de diminuer les T.I.V.

6.3.4 Évolution de la capacité

L'augmentation de capacité n'a pas pu être réellement prouvée mais il est certain qu'une meilleure utilisation des voies (celle de droite en particulier), et une apparition retardée des

bouchons, font que l'infrastructure semble plus débiter avec régulation des vitesses que sans régulation.

6.3.5 Diminution des bouchons

La régulation des vitesses n'est pas un instrument pour supprimer la congestion et les bouchons, mais est très utile pour des zones où le trafic est pulsé et où le comportement des usagers participe à l'insécurité.

6.3.6 Évolution de la sécurité

Quant à l'évolution des accidents, il y a eu vraisemblablement des exagérations. Connaissant les conditions qui conduisent à provoquer des collisions en chaîne et les difficultés pour en tirer des conclusions, on peut mettre en doute certains résultats, à moins que la situation initiale ayant servi de référence ne soit vraiment catastrophique du point de vue de la sécurité. La baisse des accidents annoncée est souvent de 20 à 25%. Ce chiffre est à modérer à cause de la baisse concomitante des accidents observée durant la même période sur l'ensemble des réseaux, parfois de 10%.

A l'appui des conclusions énoncées ci-dessus, il faut ajouter que la diminution des vitesses limites autorisées entraîne, dans tous les pays du monde et sur tous les types de réseaux, une décroissance du nombre des accidents et une décroissance très supérieure des blessés et tués.

Enfin, les dommages matériels sont rarement traités, car les statistiques ne s'intéressent qu'aux accidents corporels. Ils représentent pourtant un enjeu économique important (40 % de l'activité de l'assurance) et des pertes de temps significatives sur le réseau, en démarches et en immobilisations de véhicules.

6.3.7 Limitation de vitesses et répression

A notre connaissance, une seule expérience de ce type a été réalisée en Angleterre sur la M25, avec une prise de vue par vidéo des contrevenants. Les gains en matière de sécurité sont importants, ce qui est surprenant pour un pays comme l'Angleterre, où le taux d'accident est déjà faible. Est-elle transposable en France ? Probablement pas à titre permanent, et pas sans en avoir analysé finement les enjeux au préalable.

6.3.8 Nuisances sonores et pollution

L'augmentation de la vitesse moyenne constitue un facteur aggravant au niveau du bruit. A une variation de 10 km/h correspond sensiblement une augmentation de 1 dBA, ceci pour un débit fluide constant. Toute action de limitation de vitesse participe donc à la lutte contre le bruit routier. Quant à la pollution, et en cas d'atteinte du seuil de niveau 3, il est envisagé de limiter la vitesse à 70km/h. sur les voies rapides urbaines.

6.3.9 Consommation de carburant

Il existe de nombreuses études sur ce sujet. Retenons qu'une diminution de 10 km/h de la vitesse permet d'économiser 7 % de carburant.

6.3.10 Conduite en situation hivernale

Seule la Finlande offre un terrain d'expérimentation idéal mais là encore, les conclusions sont difficiles à généraliser et à diffuser.

6.3.11 Gains économiques

D'une part, les gains de temps de parcours et de sécurité procurés aux usagers bénéficient individuellement aux usagers, et à la collectivité.

D'autre part, les gains économiques peuvent être tangibles, notamment en cas de report d'investissement pour un concessionnaire. Par exemple, la SANEF avance l'argument de report de mise à 2 fois 3 voies de la section d'autoroute concernée.

6.3.12 Les méthodes d'évaluation

Les méthodes d'évaluation ont progressé avec l'évolution des projets européens. Pour des opérations plus anciennes, les méthodes utilisées et les résultats annoncés peuvent s'avérer contestables. Notamment, toutes les analyses relatives à l'évolution de la sécurité demandent un certain recul.

6.3.13 Les apports des projets européens

Si ces derniers ont incontestablement été un élément moteur qui d'ailleurs s'inscrit dans la durée, on peut cependant regretter le côté un peu trop démonstratif et les délais très tendus pour le rendu des conclusions qui n'apparaissent parfois qu'après plusieurs mois voire plusieurs années. Par exemple, une expérimentation par temps de brouillard est incompatible avec un délai précis de rendu.

6.3.14 Coopération entre exploitants

A Marseille comme à Strasbourg, la régulation de vitesse concerne aussi bien les autoroutes non concédées que concédées. A travers ces projets, les exploitants ont l'occasion de mettre en commun des préoccupations et des savoir-faire.

6.3.15 Caractère expérimental

Peut-on véritablement parler d'expérimentation, connaissant le coût de telles installations ? Dans MELYSSA, le côté expérimental portait initialement sur l'interdistance entre les panneaux et l'analyse du comportement des usagers par temps de pluie et de brouillard. Mais en fait, les analyses par temps de brouillard sont toujours très difficiles à mener compte tenu de l'aspect très aléatoire de la formation du brouillard.

A Marseille, malgré le vieillissement du matériel et malgré le non-chiffrage des gains, personne n'a avancé l'idée d'un démontage. On peut même remarquer que ce dispositif existant depuis 22 ans fait partie du paysage. La raison en est que l'information usager est utile à l'utilisateur et qu'il sait bien qu'il reste « maître du jeu ».

7. QUELQUES RECOMMANDATIONS

Les paragraphes précédents ont illustré le fait que les résultats des différentes expérimentations convergeaient sur de nombreux points, mais que des zones d'ombre subsistent (par exemple quant à l'effet sur les TIV courts). De plus, certains résultats paraissent difficilement transposables (par exemple les expérimentations en Finlande).

Néanmoins, malgré ces réserves, il est possible d'esquisser quelques recommandations.

7.1 Contexte : choix des sites à équiper

On pourrait imaginer que tout le réseau soit équipé de dispositifs de régulation des vitesses, ce qui permettrait d'ajuster en permanence la limitation de vitesse aux conditions du moment (trafic, météo, pollution...).

Même si une telle idée est forcément irréaliste compte tenu de son coût, elle a le mérite de faire réfléchir. De plus, le développement des systèmes embarqués fait que l'on sera sans doute bientôt en mesure de généraliser des conseils de vitesse à bord des véhicules à un faible coût.

Dans certaines circonstances, l'on veut préférentiellement augmenter la capacité opérationnelle ; c'est par exemple le cas de sections d'autoroute de rase campagne qui forment un « point dur » sur un itinéraire, ce qui entraîne des bouchons à certaines périodes de l'année.

Ce peut être aussi le cas de sections urbaines très chargées qui fonctionnent à des débits proches de la saturation : la régulation des vitesses permet de diminuer le nombre de changements de file et par voie de conséquence le nombre d'incidents, ce qui permet de conserver plus longtemps la capacité maximale.

Dans d'autres circonstances, le souhait prioritaire est une augmentation de la sécurité, par exemple en cas de mauvaises conditions météo, ou de géométrie particulière (exemple des rampes, en montée ou en descente, avec un fort différentiel de vitesses entre les voies, ou encore des sections sans B.A.U.). La régulation des vitesses permet une certaine diminution de la vitesse moyenne et une homogénéisation des flux, et on conçoit donc qu'elle puisse avoir un impact bénéfique sur la sécurité.

A la suite de l'expérimentation GECANTOUR, les sociétés d'autoroute regroupées au sein de l'ASF ont proposé un système de gestion par canton, proposant une limitation des vitesses, selon différentes situations-types regroupées en trois grandes classes reprises dans le tableau ci-contre.

classes	situations visées
1. Homogénéisation des vitesses et mise en ralentissement du trafic en cas de mauvaises conditions météorologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Conditions de circulation instables, au voisinage de la capacité, • Mauvaises conditions météo : brouillard, forte pluie, particulièrement la nuit ..., A priori, deux types d'affichages sont possibles, mais pour des raisons réglementaires, seul le 1 ^{er} type d'affichage est autorisé en France : Affichage d'une vitesse commune à toutes les voies ⁴ : mauvaise visibilité par exemple
2. Mise en ralentissement du trafic en cas de rabattement d'une voie, restriction de voie poids lourds, gestion de la vitesse par voie	<ul style="list-style-type: none"> • les zones sans BAU, • les convergents autoroutiers, • les travaux et interventions (sécurité des travailleurs) L'affichage utilisé dépend de l'application : vitesses limites, flèches de rabattement, restrictions PL.
3. Signalisation de danger en cas d'arrêt de la circulation sur la chaussée	<ul style="list-style-type: none"> • Queue de bouchon L'affichage utilise des vitesses limites, un signal danger et un signal bouchon (pictogrammes).

Ce qui est finalement le plus remarquable dans la régulation des vitesses, c'est que les gains concernent tout à la fois la sécurité et la fluidité. Et ce n'est finalement pas si fréquent d'avoir un système qui gagne sur ces deux tableaux, souvent présentes comme antagonistes

Par ailleurs, comme beaucoup d'opérations d'exploitation, la régulation des vitesses peut avoir un effet retardateur sur certains investissements d'infrastructure.

7.2 Stratégie : recommandations de mise en œuvre

7.2.1 Espacement des panneaux

Pour les diverses expériences relatées dans ce document, les panneaux sont espacés entre 500m et 2km. Une interdistance systématique de 500m correspond à un pas que l'on retrouve aussi pour les stations de recueils de données pour la détection automatique d'incidents. En fait, cette interdistance n'est certainement pas nécessaire du strict point de vue de la régulation des vitesses, et l'on doit pouvoir conserver une bonne efficacité avec des panneaux espacés de plus de 1 km. Quant à l'interdistance maximale, il ne faut pas dépasser 2 km, distance au-delà de laquelle, l'utilisateur ne garde plus en mémoire le ou les messages affichés.

7.2.2 Nombre de vitesses affichées

On s'oriente vers une limitation du nombre de ces possibilités à 2 ou 3 limitations dans le profil en long.

7.2.3 Affichage d'autres messages que l'information de vitesse

Compte tenu des possibilités actuelles des afficheurs et de leurs coûts, il serait dommage de n'afficher sur les panneaux que des informations relatives aux vitesses.

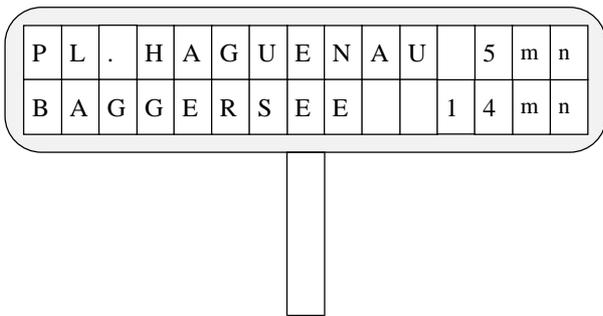
⁴ Le guide PMV du SETRA [8, p. 182 et 51] déconseille fortement l'affichage de vitesses de valeurs différentes selon les voies (sauf cas particuliers tels, par exemple, celui des descentes dangereuses où les différences de vitesse pratiquée entre voies peuvent être élevées).

7.2.4 Renforcement du message avec des flashes

La réglementation (cf. Art. 6-1 de l'arrêté du 24/11/67 et guide sur les feux de balisage et d'alerte) interdit de renforcer les signaux de prescription et d'indication ; il est donc hors de question de recommander le renforcement des signaux de régulation des vitesses.

Des texte de renforcement des messages composés d'un seul pictogramme et d'un texte sont actuellement en cours d'élaboration ; dans un avenir proche, tous les messages de ce type ne pourront pas, réglementairement, être renforcés.

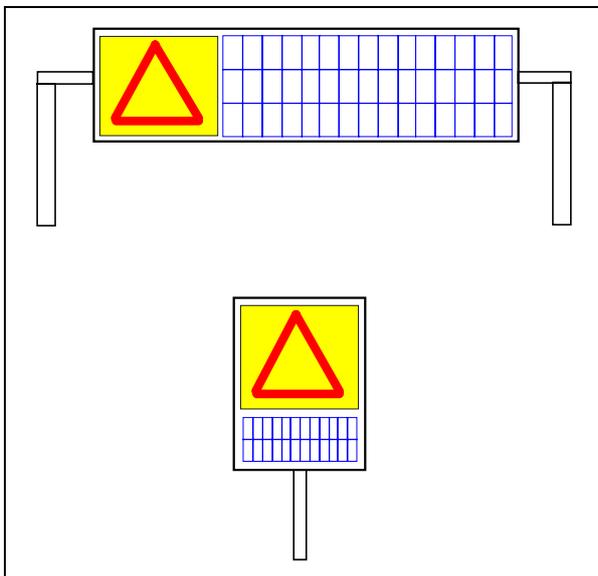
7.2.5 Une spécificité récente : l'affichage des temps de parcours



Compte tenu des expériences récentes réussies en région parisienne ; ce type d'information, bien perçu par les usagers, constitue un moyen complémentaire à l'information "vitesse". Cette information est donnée pour des noeuds d'échange bien identifiés et constituant des points de choix

7.2.6 L'association message littéral - pictogramme

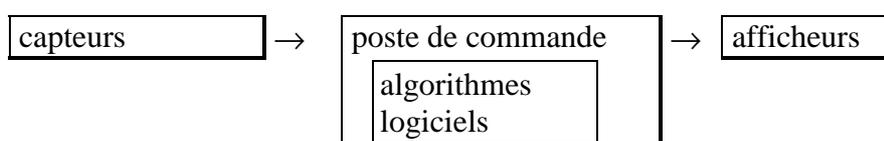
L'association de pictogramme et de texte présente un certain intérêt grâce à la complémentarité des informations qu'elle permet. Celle-ci se conçoit d'autant plus dans le contexte européen actuel et sur des axes assurant des liaisons transfrontalières. Toutefois, cette association doit respecter un certain nombre de règles.



- le pictogramme délivre l'information principale ; le rôle du texte est plutôt de donner des compléments d'information sur les perturbations (direction ou axe concernés, distance, étendue, comportement à adopter).
- étant le premier élément lu, le pictogramme est placé à gauche. Il doit pouvoir être facilement décrypté sinon l'utilisateur n'aura plus assez de temps pour lire le texte.
- la redondance totale est à éviter, sauf pour favoriser l'apprentissage d'un signal nouveau ou mal connu.

7.3 Système technique

Les principaux constituants d'une installation sont :



7.3.1 Afficheurs

L'affichage est constitué d'un message sur PMV auquel on associe éventuellement un renforcement par flashes et par un message littéral.

Avec le développement d'afficheurs à pictogramme intégral, le nombre de messages possible n'est plus limité à 7 ou 8 symboles. Il s'agit de messages à décors discontinus de catégorie 1. Aussi on peut leur associer des signaux de danger (type A), de prescription (type B), d'indication (type C) et temporaire (type KD). Par exemple, le signal A19b (« bouchon ») s'appelle officiellement A30 selon la nomenclature de la Convention de Vienne, le signal A19c (« obstacle sur chaussée ») A31 et l'annonce de visibilité A32. Ces signaux seront intégrés dans la réglementation française ; l'annonce de chaussée glissante par verglas, givre ou neige ne le sera pas. Pour plus d'explications, voir le guide PMV du SETRA [8, p. 282 et 307] ainsi que les arrêtés du 24 novembre 1967 et du 13 août 1990, et la circulaire établie chaque année répertoriant les équipements de la route certifiés et homologués pour l'année en cours (par exemple, n° 96-41 du 17 juin 1996).

Mais la possibilité d'afficher une vingtaine de messages courants, il devient nécessaire d'envisager une programmation intégrale du pictogramme. Les décors sont constitués de points pré-câblés et/ou à matrice, mais les symboles à l'intérieur des décors doivent être totalement programmables. Il existe à ce jour un PMV matriciel permettant d'afficher un nombre de décors quasi-illimité et un PMV semi-matriciel permettant d'afficher environ trente décors ; ces deux PMV sont homologués.

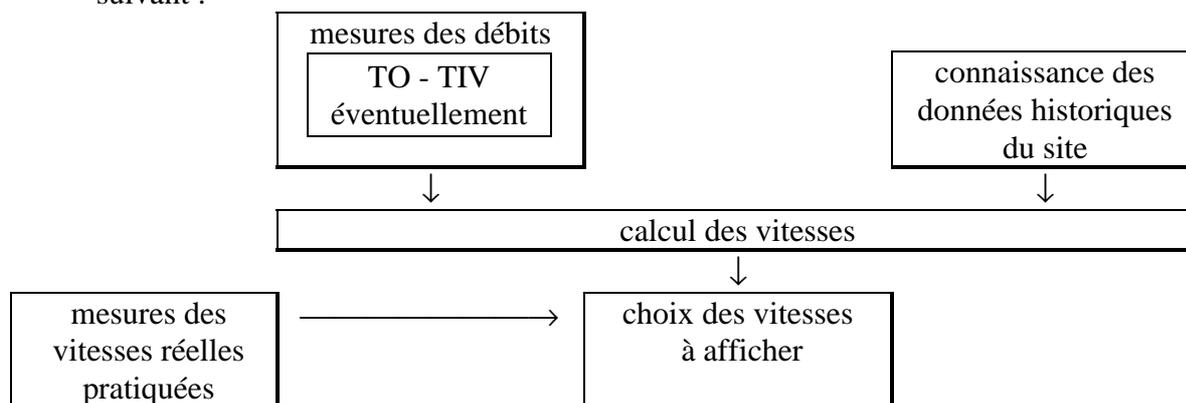
Nous vous renvoyons en annexe pour un panorama des technologies.

7.3.2 Capteurs et recueils de données

Nous vous renvoyons également en annexe pour un panorama des technologies.

7.3.3 Algorithmes

Le fonctionnement des différents algorithmes de régulation obéit au schéma général suivant :



A Marseille, le poste central reçoit les données de vitesse des station SIREDO toutes les 6 ou 12 secondes. Tant que les véhicules roulent au dessus de 50km/h le système affiche la vitesse à laquelle roule la moyenne de véhicules. Si cette moyenne descend en dessous de 50km/h. la signalisation est renforcée par des flashes à clignotement rapide. Dans la mesure du possible on assure la progressivité du ralentissement en affichant 70km/h sur le portique précédent (500m en amont) ? En cas de débit important ou de fort taux de poids lourds, c'est le 90km/h qui est affiché.

7.4 Résultat d'évaluations

7.4.1 méthodologie

Nous vous renvoyons à la méthode des 12 étapes décrite en annexe.

7.4.2 suivi des vitesses pratiquées

Des outils de suivi des vitesses pratiquées existent, tels que SATL, SIREDO, le panel ONSER-ISL.

7.4.3 Prix

Ces derniers viennent de baisser au cours des deux dernières années 97 et 98, surtout pour les afficheurs. Si ces derniers constituent encore une grande partie du prix, il ne faut oublier aucun des autres constituants. Voici à titre très indicatif des ordres de grandeur de prix constatés récemment. Les fourchettes de prix peuvent être très importantes, et de plus, les prix varient selon le marché (dimensions et nombre d'équipements, région, périodes...).

	prix hors taxes
• Afficheur, selon type et taille	
◇ 3 lignes de 18 caractères en 320 mm	entre 120 et 140 kF
◇ pictogramme de 1500 x 1500	entre 110 et 130 kF
◇ caisson supportant l'ensemble	entre 50 et 100 kF
• Support	
◇ mât	entre 10 et 15 kF
◇ potence	entre 100 et 150 kF
◇ portique sur deux voies	environ 140 kF, jusqu'à 300 kF
◇ massifs de portique	entre 35 et 60 kF
• Armoire technique et son support	environ 45 kF
• Pose d'un portique	environ 20 kF

En 98, un portique équipé et posé au-dessus de 2 voies de circulation revient à environ 600 kF hors taxes (hors raccordements électriques, téléphoniques, sur site et au poste central).

A ces prix de base, il faut ajouter les différents raccordements en énergie et en télétransmission, ainsi que les tranchées et chambres de tirage correspondantes.

Ces matériels sont commandés depuis un poste central comprenant :

- micro-ordinateur + périphériques,
- logiciels,
- lot de maintenance.

L'intégration du logiciel à l'informatique du poste opérateur peut coûter cher.

Le poste central reçoit des informations en provenance de capteurs, mais ces capteurs et stations SIREDO ne sont pas implantés uniquement pour l'action de régulation des vitesses. Les coûts sont donc à répartir entre les diverses applications qui les utilisent.

7.5 Perspectives

Ce rapport d'étude est loin d'être un guide technique, et nous proposons ci-dessous quelques pistes de progrès aux acteurs concernés par la régulation des vitesses.

7.5.1 maîtres d'ouvrage

- mettre en place une stratégie globale de gestion des vitesses en vue d'améliorer la sécurité, dans laquelle la régulation des vitesses sur VRU peut avoir sa place
- faire progresser la réglementation

7.5.2 exploitants

- envisager la régulation des vitesses comme une stratégie d'exploitation possible
- lancer des études d'opportunité sur site et le cas échéant proposer des actions pilotes

7.5.3 réseau technique de l'Équipement

- consolider une méthodologie (évaluation et calculs, stratégies de gestion des vitesses)
- accompagner les exploitants de niveau 1 du SDER
- contribuer à la spécification d'un système générique pour la régulation des vitesses

7.5.4 industriels

- proposer des équipements et systèmes permettant de mettre en œuvre la RV
- développer de nouveaux systèmes embarqués

7.5.5 recherche

- développer des modèles de trafic simulant simplement et correctement les phénomènes pertinents pour la régulation des vitesses

7.5.6 bureaux d'études

- proposer des outils de simulation

Bibliographie

Documents méthodologiques et rapports d'étude

- 503 mots de l'exploitation de la route, Glossaire, SETRA, 12/96 [1]
- Ingénierie du Trafic Routier, Simon COHEN, Presses de l'ENPC, 02/93 [2]
- La régulation de vitesse sur autoroute en France et à l'étranger ; Rapport de recherche IRT n° 56, 01-82 [3]
- Les effets des limitations de vitesse, Note de synthèse, DP - INRETS, n° 90 120, EX 08/91 [4]
- Exploitation des réseaux principaux des Voiries d'Agglomération, Schéma Directeur d'Exploitation de la Route, Réseaux de niveau 1, Guide méthodologique, CERTU, décembre 96 [7]
- Panneaux de signalisation à messages variables, Guide technique, SETRA, décembre 94 [8]
- La mesure des vitesses et ses applications, Rapport d'étude, SETRA / CETE de l'Est, 04/97 [9]
- Équipements de la route, Répertoire des homologations, SETRA, Parution annuelle (également sur MINITEL 3616 code SETRA HOM) [10]
- Exploitation des Autoroutes de Marseille, Extraits de CCTP - Cete Méditerranée, 12/90 [12]
- Limitations de vitesse - *Les décisions publiques et leurs effets*, Simon COHEN, Hubert DUVAL, Sylvain LASSARRE, Jean-Pierre ORFEUIL, INRETS, Éditions Hermès, 02/98 [13]
- Le Projet européen MELYSSA rapport final, CETE de Lyon 12-95 [14]
- La régulation des accès : un outil pour l'exploitation des VRU, rapport d'étude, CERTU, décembre 1997 [15]
- S. Zerghini, évaluation des mesures d'exploitation routière, thèse de doctorat, SETRA, 1998 [16]
- Kallberg, V-P., Allsop, R.E., Ward, H., van der Horst, R. & Várhelyi, A. Recommendations for Speed Management Strategies and Tools. MASTER⁵ Deliverable 12 (report 4.1.1). Sent for approval to DG VII in September 1998. [17]
- Système spatial temps réel d'aide la décision : application aux risques autoroutiers, Tullio Joseph TANZI, thèse de doctorat en ingénierie informatique de l'INSA de Lyon, LISI, 30 juillet 1998. [18]
- Plans de Déplacements Urbains et environnement, Prise en compte des pollutions atmosphériques, du bruit et de la consommation d'énergie, CERTU / ADEME, à paraître. [19]
- Várhelyi. A., Lund University, Sweden, Innovative speed management tools : summary report, MASTER⁶, contract RO-96-SC-SC.202, Working Paper R 3.3.1., September 1998. [51]

⁵ notez que tous les rapports de recherche de MASTER sont disponibles sur le site Web du VTT en Finlande à l'adresse www.vtt.fi/yki/yki6/master/master.htm

⁶ notez que tous les rapports de recherche de MASTER sont disponibles sur le site Web du VTT en Finlande à l'adresse www.vtt.fi/yki/yki6/master/master.htm

- FHWA study tour for speed management and enforcement technology, a survey of practice in the Netherlands, Germany, Sweden and Australia, February 96, cité sur le page Web www.azfms.com/DocReviews/Oct96/art7.htm [56]
- Managing speed : review of current practice for setting and enforcing speed limits, TRB special report 254, Washington D.C. (\$35) [57]
- The effect of an advisory speed signal on motorways traffic speeds, P.J. Webb, TRL, Crowthorne, Berkshire, 1980 [58]
- The effect of variable road condition warning signs, P. Rämä et al., Finnish National Road Administration, 1996 [59]
- Varying speed limits based on weather conditions, K. Pajunen and J. Mänttari, Technical Research Centre of Finland, VTT, 1993 [63]
- Driver acceptance of weather-controlled road signs and displays, P. Rämä and J. Luoma, Transportation Research Record 1573, pp. 72-75, 1997 [64]

Articles, Fiches documentaires et dossiers de presse

- Weather Speed Limits, Finnish National Road Administration, revue ITS n°13, p. 72-73, Nov/Dec '97 [20]
- Control by variable Speed Signs, The Dutch experiment, Ministry of Transport - The Netherlands, IEE Conference on road Traffic Monitoring and Control, 1994, pp. 99-103 [21]
- Road Traffic Monitoring and Control, Control by variable Speed, Signs results of the Dutch experiment, 26-28/04/94, pp. 145-149 (suite de l'article précédent) [22]
- Évolution de la capacité des infrastructures : Un exemple sur une voie rapide urbaine, Simon COHEN, revue Recherche Transports Sécurité n° 47, juin 1995 [23]
- Capacité des autoroutes (1ère partie), Ph. LEGER / M. LIGER, revue TEC n° 52, mai-juin 1982 [24]
- Fluidité - Sécurité : Faut-il choisir 2 (2ème partie), J.R. CARRE, S. LASSARRE, M. LIGER, revue TEC n° 69, mars-avril 1985 [25]
- Expérimentations sur A 10 ET A 72 en vue d'atténuer les risques dûs au brouillard et au verglas ASF, revue RGRA n° 635, novembre 1996 [26]
- Expérience de modulation de vitesse sur l'autoroute A 4 entre Reichstett et Brumath, revue TEC n° 146, Janvier-Février 98 [27]
- En Finlande, une expérience de signalisation variable, revue RGRA n° 733, 10/95 [28]
- Étude de la représentation de symboles de signalisation routière sur des panneaux à messages matriciels, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées n°205 [29]
- Interdistances, trafics et sécurité de la route, INRETS [5]
- Régulation d'intervalles sur autoroute, le système d'alerte "augmentez vos distances", rapport INRETS N°70, juillet 88 [6]
- DREIF - INRETS - DDE 94, Exploitation des voies rapides, Rapport de mission 1ère partie (États-Unis, RFA), 2ème partie (Japon-Angleterre), 1987 [11]
- Speed adaptation : a field trial of driver acceptance, behaviour and safety, S. Almqvist, présentation au congrès mondial ITS, Séoul, 10/98 [52]
- Intelligent speed adaptation : the Dutch experiment in an urban area, M. Vanderschuren et al., présentation n° 2107 au congrès mondial ITS, Séoul, 10/98 [53]
- Implementation of variable speed limits on main highways in Finland, Anna Schirokoff and Jukka Lähesmaa, présentation au congrès mondial ITS, Séoul, 10/98 [54]

- Impact of intelligent cruise control strategies and equipment rate on road capacity, M.M. Minderhoud and P.H.L. Bovy, présentation au congrès mondial ITS, Séoul, 10/98 [55]
- External Vehicle Speed Control, the EVSC project, décrit sur le site Web de l'Université de Leeds www.its.leeds.ac.uk/projects/evsc [57]
- Slow, slow, quick, quick, slow, Ian Nuttal, Traffic Technology International, Winter 1995 [60]
- Nebelwarnsystem A8 Hohenstadt - Riedheim, Wirkungsanalyse, W. Balz und J. Zhu, Landesamt für Strassenwesen, Baden-Württemberg und PTV Consult GmbH, Niederlassung Stuttgart, 1994 [61]
- Evaluation of A16 motorway fog-signalling system with respect to driving behaviour, J.H. Hogema and R. Van der Horst, Transportation Research Record 1573, pp. 63-67, 1997 [62]
- Fiche ASFA n° 11, Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes, mai 97 [40]
- Revue SETRA, fiches N°99 - 100 - 103 - 111 [41]
- Modulation des vitesses à Strasbourg, Dossier de presse SANEF, 1998 [42]
- Modulation de vitesse sur autoroute, Philippe Lassauce, Revue Générale des Routes et Autoroutes, N° 768, décembre 98, pp. 16-19. [65]
- Le plan vitesse : un programme d'actions contre les vitesses excessives inadaptées, Gérard Veyre et Frédéric Chanteclair, Revue Générale des Routes et Autoroutes, N° 768, décembre 98, pp. 7-15. [66]
- Reducing traffic injuries resulting from excess and inappropriate speed, European Transport Safety Council, Brussels, 1994. [67]
- Promoting road safety in the EU : the programme for 1997-2001, Commission of the European Communities, COM(97) 131 final, Brussels. [68]
- Speed management in Sweden, G. Andersson and G. Nilsson, Swedish national Road and Transport Research Institute (VTI), 12 pages, 1997. [69]

Annexe. Évaluation des impacts des systèmes

Méthode en 12 étapes

Nous résumons ici en une page un document rédigé par Patrick Olivero (ZELT, CETE du Sud-Ouest, 12 av. E. Belin, 31400 Toulouse), disponible par ailleurs.

La méthode présentée ici, et que l'on trouve généralement dans la littérature sous le nom de « méthode en 12 étapes » est issue du projet européen Field Trials⁷. Elle a ensuite été enrichie dans le cadre du projet MELYSSA dans le programme Drive2. Elle a été reprise dans la méthodologie CONVERGE du 4^{ème} Programme Cadre pour la Recherche et le Développement (4^{ème} PCRD). Cette méthode est un mémento des étapes nécessaires pour préparer l'évaluation des impacts d'un système.

Il s'agit donc d'un cadre général qui fournit un ensemble aussi exhaustif que possible de questions que doit se poser l'évaluateur. Le schéma linéaire en 12 étapes a précisément pour but de garantir cette démarche. En d'autres termes, l'évaluateur qui s'est posé l'ensemble des questions correspondant aux étapes n°1 à 12, n'aura peut-être pas formulé de bonnes réponses, mais sera assuré de s'être posé les bonnes questions (ou au moins les plus essentielles).

La linéarité du schéma n'exclut pas des retours en arrière. Beaucoup d'étapes ne sont pas indépendantes des précédentes et des suivantes (par exemple : le choix des indicateurs et des critères de réponse n'est pas indépendant de la disponibilité des moyens de mesure). On peut donc « naviguer » à sa guise dans ce cadre général, l'essentiel étant de s'être posé au moins une fois l'ensemble des questions qui y sont posées.

Les étapes à suivre sont les suivantes :

- 1. : Définition du système à tester
- 2. : Définition du type de comparaison
- 3. : Définition des indicateurs et des critères de réponse correspondants
- 4. : Définition des blocs de contexte
- 5. : Définition des interactions entre le système et les blocs de contexte
- 6. : Définition des moyens de mesure des critères de réponse
- 7. : traitement de la réponse
- 8. : Définition du site de test
- 9. : Considérations statistiques
- 10. : Planification de l'expérience
- 11. : Analyse préalable de la robustesse du test
- 12. : Organisation pratique

⁷ Projet du programme DRIVE 1 (ZELT, HEUSCH-BOESEFELD, Université de Munich)

Annexe : Technologies d'affichage dynamique

- **Technologies anciennes**

Avant de développer plus particulièrement les technologies actuelles, il est nécessaire de faire état de technologies anciennes qui rendent encore des services aujourd'hui.

- ◇ **Panneaux à rideaux**

Il en existe différents types : le message est imprimé sur un film plastique ou sur un ensemble de bandes parallèles, et leur déroulement fait apparaître le message. L'ensemble est placé dans un caisson éclairé par des réglottes fluorescentes. Bien que ce type de panneau présente des inconvénients dus aux pièces en mouvement, sa durée de vie peut être importante s'il est bien entretenu. Les installations réalisées sur A7 au nord de MARSEILLE sont là pour en témoigner.

- **Technologies à base de fibre optique et de matrices de points**

- ◇ **Panneaux à fibres optiques**

Technologie de pointe permettant un grand nombre de possibilités dans les messages et dans les couleurs. Les points lumineux obtenus en extrémité des fibres optiques, autorisent une lecture à grande distance, même par mauvaises conditions atmosphériques. Un faisceau de fibres relié au départ en toron est soumis à la lumière d'une ou plusieurs lampes. La juxtaposition des points lumineux formés par l'extrémité de chaque fibre constitue le message que l'on désire afficher. Ces points peuvent être juxtaposés en plusieurs rangées pour donner de l'épaisseur au graphisme.

Les sources lumineuses utilisées sont des lampes halogènes de 50 W à 70 W alimentées en très basse tension.

L'affichage de plusieurs messages sur un même panneau est rendu possible par l'utilisation d'une lentille en bout de fibre permettant jusqu'à 8 entrées.

L'emploi des fibres optiques conduit presque toujours à une inversion des couleurs : un fond noir est nécessaire pour l'inscription d'un message lumineux.

- ◇ **Amélioration du procédé**

Affichage d'un message alphanumérique quelconque : panneau SYLVIA de SES.

Dans ce cas les messages n'apparaissent plus par allumage ou extinction de lampes, mais par occultation du débouché des fibres optiques. C'est en quelque sorte le négatif du message qui fait l'objet de télécommande.

Cette technologie convient bien aux voies rapides et son coût est relativement élevé.

- ◇ **Les diodes électroluminescentes**

Contrairement aux autres sources lumineuses, les diodes électroluminescentes consomment très peu d'énergie. Leur durée de vie est exceptionnellement longue (supérieure à 100 000 heures de fonctionnement). Leurs faibles dimensions permettent d'obtenir des matrices de points très denses, autorisant une excellente définition du graphisme.

L'étroitesse de la gamme des couleurs disponibles (rouge, vert et jaune) en a limité pendant un temps l'usage. C'est une technologie qui progresse actuellement très rapidement surtout au niveau de l'intensité lumineuse émise et du développement de nouvelles couleurs : blanc ambré, par exemple et bleu bientôt commercialisé. Il est toutefois encore nécessaire de choisir entre une forte intensité lumineuse et un angle de diffusion important. Le produit des deux reste pratiquement constant.

forte intensité lumineuse → angle relativement fermé 5 à 10°.

faible intensité lumineuse → angle de diffusion important.

Toutefois nous recommandons de se reporter aux fiches produits des fournisseurs (tels que Toshiba ou Hewlett-Packard) pour obtenir des valeurs précises.

◇ **Les pastilles magnétiques**

Le principe de fonctionnement du système d'affichage repose sur la possibilité de modifier à volonté la polarité d'un noyau d'électro-aimant, modification qui entraîne le retournement (pastilles Ferranti) ou la rotation (Varacter) autour de leur axe des éléments réfléchissants aimantés de façon permanente. Les modules les plus courants sont 100 mm, 225 mm et 300 mm, ils sont constitués d'une matrice de 35 pastilles (7 x 5).

Cette technologie est très employée en ville pour les informations municipales, mais son emploi sur voie rapide n'a pas été concluant.

Cette technologie n'est pas homologuée à ce jour car elle ne répond pas aux spécifications demandées.

◇ **Le système LYNX de DECAUX**

Il combine fibre optique et pastilles magnétiques. Le point lumineux est occulté par basculement des pastilles en position non activée. en position active l'émergence du point lumineux d'extrémité de fibre, pratiquement au centre de la pastille, permet d'éclairer cette dernière. Il a donc les avantages des deux procédés mais il est aussi parmi les plus coûteux. Il consomme peu d'énergie et se présente le jour comme un affichage à pastilles magnétiques, et la nuit comme un affichage à fibres optiques.

• ***Nouvelles technologies en cours de développement***

◇ **Les cristaux liquides**

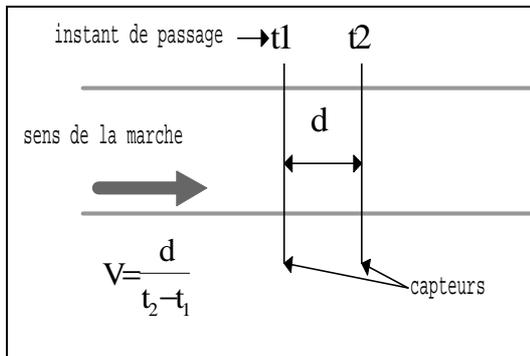
C'est la plus récente des technologies passives, et sans doute la plus complexe. Le principe de cette technologie est identique à celui de la technologie "magnétique". Mais ici, l'élément réfléchissant mécanique est remplacé par de minuscules cristaux que l'on oriente par un champ électrique. Ainsi, le poids et l'encombrement s'en trouvent très considérablement réduits. Ces caractéristiques font qu'il est alors possible d'adjoindre un éclairage "intégré" donnant ainsi l'impression que cette technologie est active.

L'adjonction de filtres colorés permet de choisir la teinte d'affichage. Mais pour de grandes dimensions d'affichage, cette technologie est encore considérée comme monochrome. Initialement ils se contentaient de réfléchir une partie de la lumière reçue. Mais maintenant avec un système d'éclairage interne ils deviennent lumineux ce qui est un grand avantage par faible luminosité externe (mode transflectif). Toutefois il faut préciser que cette dernière technologie n'est pas homologuée à ce jour.

Annexe. Principes et techniques pour le recueil de données de trafic

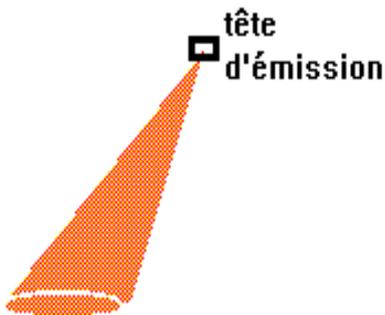
• *La mesure des vitesses*

Les matériels non embarqués de mesure de la vitesse utilisent l'un ou l'autre des principes suivants:



- Deux capteurs sont espacés d'une certaine distance connue ; et le principe consiste à mesurer l'intervalle de temps séparant les signaux issus de chacun des capteurs respectifs, au passage d'un mobile.

Ces capteurs sont généralement insérés dans la chaussée.



- La mesure de vitesse est réalisée grâce à l'émission d'un rayonnement vers le mobile, généralement en hyperfréquence. Une partie de l'onde est réfléchiée par le mobile en étant modifiée. Cette modification, proportionnelle à la vitesse, est analysée pour calculer la vitesse. C'est le principe de l'effet Doppler utilisé par les radars.

• *Les capteurs de base*

Cet aspect a déjà largement été développé dans le guide technique du SETRA paru en décembre 95 sous le titre "**Les capteurs de trafic routier**". Le paragraphe ci-dessous n'est qu'une présentation des applications spécifiques de mesures de vitesses sur voie rapide.

◇ **Les boucles électromagnétiques**

C'est aujourd'hui le dispositif de mesure des paramètres de circulation le plus répandu tant en ville qu'en rase campagne. Si la mesure des débits constitue la principale application, les boucles sont utilisées pour accéder au paramètre vitesse avec un surcoût marginal notamment avec la mise en place du programme SIREDO ces dernières années. Avec deux boucles par voie, espacées d'une certaine distance **d** connue, il est relativement aisé d'accéder au paramètre vitesse instantanée des véhicules.

◇ **Le capteur hyper-fréquences (RADAR)**

Le capteur est constitué par une antenne directive, émettant une onde électromagnétique fondée utilisant l'effet Doppler-Fizeau. Après réflexion de l'onde émise sur le mobile en mouvement, une fraction de l'onde revient sur la même antenne. La différence entre la fréquence émise et la fréquence réfléchiée, est proportionnelle à la vitesse instantanée du véhicule. Les radars sont assez peu utilisés pour la mesure des vitesses sur VRU.

◇ **Le capteur piézo-céramique**

Les applications principales de ce type de capteur sont surtout le pesage des essieux et la classification du trafic. Mais deux capteurs implantés à une distance connue (1 ou 2 m) permettent un calcul de la vitesse avec une très bonne précision. Son coût d'installation est toutefois très supérieur à celui d'une boucle électromagnétique et de ce fait, il n'est pas compétitif de l'utiliser pour uniquement pour mesurer des vitesses.

◇ **L'exploitation de l'image vidéo**

Couramment utilisée pour la surveillance du trafic dans des postes de contrôle, l'image vidéo offre des informations d'une grande richesse. Grâce aux techniques d'analyse d'image en temps réel, l'utilisation du capteur vidéo se développe pour la détection automatique de bouchon (DAB) et la détection automatique d'incidents (DAI). En plus de ces utilisations, la vidéo permet aussi d'élaborer des mesures classiques de trafic : débits, vitesses, taux d'occupation, longueur de file d'attente... Toutefois, l'extraction des paramètres n'est possible qu'avec des caméras à focale fixe, orientées dans une seule direction.

◇ **Les capteurs magnétiques**

C'est le dernier né des capteurs - détecteurs de trafic dont la diffusion a commencé en France en 1994. Avec l'utilisation d'un couple de deux capteurs espacés d'une certaine distance, cela permet d'accéder au paramètre vitesse et d'en déduire la longueur des véhicules. Ils peuvent être placés sur la chaussée au milieu de la voie. D'abord conditionnés pour réaliser des comptages temporaires, ces capteurs commencent maintenant à être testés dans des installations de recueils de données permanentes. Dans cette utilisation les capteurs miniaturisés sont conditionnés dans un cylindre de Ø 22 mm ou dans un parallépipède de 15 mm de côtés. Ils sont implantés dans une saignée au milieu de la voie ou dans un pot enterrable. Les travaux de génie civil sont moins importants que pour une boucle électromagnétique.

◇ **Le laser**

La diode laser commence à équiper certains appareils de mesure de vitesse surtout répressifs. Le laser a la particularité de pouvoir travailler à grande distance (jusqu'à 200 m) avec un angle très fermé (diamètre du faisceau à 100 m : 35 cm). Une impulsion lumineuse très courte est envoyée sur la cible et l'appareil mesure le temps qui s'écoule entre l'envoi de l'impulsion et le retour de l'écho lumineux. Ces dispositifs laser ne sont pas encore utilisés pour des mesures permanentes.

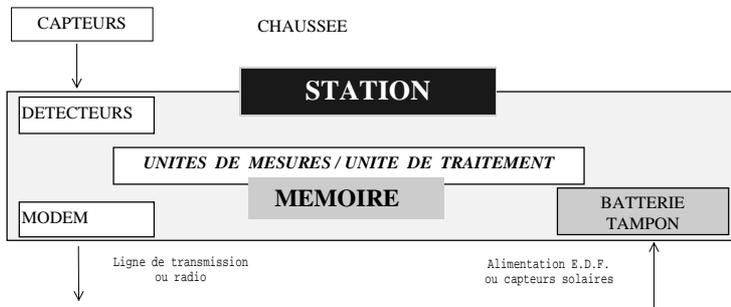
◇ **La fibre optique**

Des recherches récentes ont montré que la fibre optique peut dans certaines conditions être utilisée comme capteur de trafic et plus particulièrement pour le pesage en marche. Suite au passage des essieux, la fibre optique réagit au niveau de la propagation du flux lumineux émis par une diode. Différentes études sont actuellement menées par le LCPC pour en apprécier les performances. A ce jour, ce capteur encore expérimental n'est pas commercialisé.

• ***Les stations de mesure***

Les stations de trafic sont aptes à fournir des données de vitesse de façon permanentes. Pour ces réseaux de recueils de données, la mesure de la vitesse ne constituait pas un objectif principal, mais pouvait en fait être réalisé à un coût marginal. Ces données permettent l'alimentation des algorithmes de choix des vitesses à afficher.

Les stations de trafic sont constituées selon le schéma ci-dessous :



Les stations de type SIREDO (Système informatisé de Recueil de Données). Le programme SIREDO a été conçu dans le but d'uniformiser et de standardiser les recueils de données de trafics réalisés en France pour différents besoins (gestion de la circulation en temps réel, recueils de statistiques) et par des utilisateurs très divers (services départementaux, CNIR, CRICR, gestionnaires d'autoroutes, ...).

Annexe. Le projet européen MASTER

Recommandations en matière de stratégies de gestion des vitesses

remarque préliminaire.

Les recommandations sont celles des partenaires du projet MASTER, pas celles de la communauté européenne, ni évidemment celles du ministère de l'Équipement. Cette annexe est une traduction libre de [17] faite par le CERTU, dans le but de replacer la régulation des vitesses dans un contexte bien plus large, et de permettre au lecteur intéressé de trouver dans les documents produits par le projet MASTER une source très riche d'information et de références pour approfondir tel ou tel point.

[17] Kallberg, V-P., Allsop, R.E., Ward, H., van der Horst, R. & Várhelyi, A. *Recommendations for Speed Management Strategies and Tools. MASTER⁸ Deliverable 12 (report 4.1.1). Sent for approval to DG VII in September 1998. C'est le document final qui résume tout le projet.*

[51] Várhelyi, A., Lund University, Sweden, *Innovative speed management tools : summary report, MASTER⁹, contract RO-96-SC-SC.202, Working Paper R 3.3.1., September 1998. Ce document concerne spécifiquement les outils télématiques, dont les systèmes en bord de route (limitation de vitesse variable, affichage d'un retour d'information sur les vitesses pratiquées, contrôle automatisé du respect des limitations), mais aussi de manière plus prospective les dispositifs embarqués.*

INTRODUCTION.

Contexte et objectifs.

Le projet MASTER a surtout pour origine les effets (nuisibles) de la vitesse sur la sécurité routière. Cela dit, la prévention des accidents et la réduction des dégâts causés doit être un objectif qui doit être poursuivi en sachant tenir compte des autres besoins : réduire les temps de parcours, réduire les nuisances (bruit, pollution, etc.).

La gestion des vitesses ne consiste pas seulement à définir et faire appliquer des limites et à empêcher les vitesses *excessives*, mais vise aussi ce que le conducteur adopte un comportement qui lui fasse choisir la vitesse *appropriée* selon les circonstances.

L'objectif du projet MASTER (MANaging Speeds of Traffic on European Roads) était de pouvoir être utilisé dans la préparation de décisions nationales ou européennes concernant la gestion des vitesses et les standards liés aux équipements de régulation des vitesses. Le projet a cherché à répondre à 3 questions :

1. quelles sont des plages de vitesse acceptables ?
2. quels sont les facteurs-clés qui influencent les vitesses pratiquées par les conducteurs ?
3. quels sont les meilleurs outils et stratégies de gestion des vitesses ?

Le projet a produit 26 rapports (dont 12 délivrables) ; le D12 présente les recommandations.

Les objectifs de la gestion des vitesses ont été formulés de la manière suivante :

⁸ notez que tous les rapports de recherche de MASTER sont disponibles sur le site Web du VTT en Finlande à l'adresse www.vtt.fi/yki/yki6/master/master.htm

⁹ notez que tous les rapports de recherche de MASTER sont disponibles sur le site Web du VTT en Finlande à l'adresse www.vtt.fi/yki/yki6/master/master.htm

1. Détermination des plages de vitesses cibles selon l'état de la chaussée et du trafic
2. Détermination et application des mesures et outils les plus aptes à persuader les conducteurs de pratiquer ces vitesses.

Démarche générale.

La démarche comprend les 3 phases suivantes.

Tout d'abord, le chapitre 2 décrit l'existant. Le but est de donner un panorama des problèmes liés à la vitesse et donc justifier le besoin d'améliorer la gestion des vitesses. De plus, les facteurs influençant la vitesse sont décrits.

Ensuite, le chapitre 3 décrit les mesures et outils existants et potentiellement disponibles.

Enfin, les recommandations sont formulées dans le chapitre 4, en suivant les objectifs formulés dans l'introduction. La détermination des limitations de vitesses, où il est dit qu'il faut aller vers une harmonisation européenne, mais qu'il faut garder assez de souplesse pour prendre en compte les besoins nationaux à court terme. Le cadre proposé par MASTER doit permettre une évaluation systématique de tous les impacts. Des recommandations sur les outils et les mesures sont ensuite données, en distinguant 4 types de réseau routier (urbain résidentiel, urbain principal, rase campagne mixte, autoroutier).

Le chapitre 5 conclut et propose quelques perspectives.

LE PROBLEME DES VITESSES.

Les effets de la vitesse

panorama

L'augmentation de la vitesse a un impact direct sur les temps de parcours et la mobilité, mais aussi plusieurs effets négatifs en termes de sécurité et d'environnement. Le conseil européen pour la sécurité des transports [67], la CCE [68] et le comité du transport et du tourisme au parlement européen ont tous exprimé leur préoccupation vis-à-vis du rôle de la vitesse sur le nombre et la gravité des accidents de la route. La gestion des vitesses ne consiste pas seulement à définir et faire appliquer des limites et à empêcher les vitesses *excessives*, mais vise aussi ce que le conducteur adopte un comportement qui lui fasse choisir la vitesse *appropriée* selon les circonstances.

accidents

Des études déjà anciennes ont montré que des véhicules ayant une vitesse inférieure à la moyenne (tous comme ceux qui ont une vitesse supérieure) ont un risque d'accident plus important que la moyenne, mais la gravité des accidents varie plus que proportionnellement avec la vitesse. C'est cohérent avec d'autres travaux qui ont montré que sur des routes d'un type donné, le taux d'accident avec blessés, blessés graves, ou tués varient respectivement en même temps que V^2 , V^3 et V^4 [69]. Très grossièrement, une réduction de 1 km/h des vitesses moyennes réduit de 3% les accidents avec blessés. Lorsque la vitesse augmente, les coûts des accidents augmentent deux fois plus vite que le nombre d'accidents avec blessés.

Une approche complémentaire à l'analyse avant-après est l'analyse vitesse / accidents sur une section, qui a été conduite dans plusieurs études récentes. Le travail mené dans MASTER, bien que sur une échelle réduite et seulement sur les routes de campagne, a prouvé qu'une modélisation log-linéaire pourrait être utilisée dans des modèles estimant la fréquence d'accidents à partir des vitesses pratiquées au niveau européen.

coûts pour les usagers

La gestion de la vitesse influence les vitesses pratiquées, ce qui affecte les usagers en modifiant :

- le temps passé sur le trajet
- les quantités de carburant et d'huile consommées
- l'usure des pneus
- le coût de maintenance
- la dépréciation du véhicule

La gestion des vitesses influence la vitesse à laquelle les véhicules sont conduits, ce qui à son tour affecte les usagers en modifiant le temps de trajet et les coûts d'utilisation des véhicules. La gestion des vitesses induit des modifications des coûts (temps, argent, et autres critères) pas toujours bien perçues par les usagers en termes de temps et d'argent, ce qui n'affecte pas les modifications de coûts, mais peut affecter le comportement des usagers. Les modifications de coûts n'impliquent pas non plus qu'ils soient pris en compte par les gouvernements.

Le temps de trajet est clairement lié à la vitesse. Alors que les coûts monétaires et matériels sont additifs d'une manière simple, il n'est pas clair qu'il en soit de même des temps de trajet ; en tout cas ils sont monétarisés de manière différente selon les pays.

impacts sur l'environnement

Les émissions dues aux transports routiers sont de divers types. Les principaux polluants sont des oxydes d'azote dont les émissions augmentent avec la vitesse, des hydrocarbures dont les émissions diminuent en général avec la vitesse, et les monoxydes de carbone ainsi que les particules dont l'émission est minimale pour des vitesses moyennes. Les émissions de CO₂ sont proportionnelles au carburant consommé. Les changements de vitesse (en particulier, les accélérations) peuvent contribuer beaucoup aux émissions.

Le bruit dû aux pneumatiques est prédominant au delà de 40-50 km/h, niveau auquel le bruit augmente linéairement avec la vitesse. Accélération et freinage peuvent causer une légère augmentation du bruit. Les ralentisseurs peuvent causer un bruit supplémentaire.

équité ; les coûts sociaux et privés

En principe, les plages de vitesses optimales ou cibles pour tout type de route pourraient être déterminés en choisissant les vitesses qui maximisent le bénéfice total. Cependant, cette méthode ne prend pas en compte les effets de distribution, dus au fait qu'une augmentation de la vitesse pour un groupe d'usagers signifie souvent une perte pour un autre groupe. Une autre idée assez proche, celle d'équité, se réfère au désir de distribuer les bénéfices entre les groupes et individus, et à l'injustice qui serait causée par des pertes non compensées. Du point de vue de la société, cet aspect redistributif peut avoir des impacts aussi importants que le coût total. Le fait que les impacts de la vitesse diffèrent selon le point de vue (société, ou individu) est la raison principale pour laquelle on a besoin de mettre en place une politique de gestion des vitesses. En théorie on pourrait instituer une taxe (ou des subventions) pour compenser la différence entre coûts sociaux et individuels ; en pratique ce n'est pas envisageable dans un avenir même lointain, d'où les propositions faites dans le cadre de ce projet.

les effets de niveau « réseau »

Si la gestion des vitesses change de manière durable l'accessibilité des lieux entre eux, des effets socio-économiques peuvent apparaître à long terme. Les personnes et les entreprises peuvent s'installer dans d'autres endroits où les transports sont plus attractifs. Des études sur les impacts d'un changement des vitesses pratiquées ne considèrent souvent que le niveau « tronçon » (ce qui signifie en général que les volumes de trafic demeurent inchangés). Le niveau « réseau » est plus rarement étudié car il faut alors prendre en compte les effets indirects sur le volume de trafic.

Le choix de la vitesse par le conducteur

aperçu des différents facteurs

La théorie du « comportement planifié » de Ajzen (85) est souvent citée en psychologie du trafic. Les modèles construits à partir de cette théorie indiquent que le comportement du conducteur est largement déterminé par des intentions, elles-mêmes déterminées par des attitudes, des normes subjectives, et une perception du contrôle comportemental. Cependant, le comportement n'est pas seulement dicté par les motivations, mais aussi par des facteurs externes perçus par le conducteur, comme des éléments de conception routière et le comportement des autres usagers.

Dans MASTER, les facteurs influençant le conducteur ont été étudiés selon 2 points de vue. Tout d'abord, 1200 entretiens à propos de l'acceptabilité des vitesses pratiquées et des limitations de vitesse existantes avec des conducteurs et des piétons ont été menés dans 6 pays. Par ailleurs, les aspects de conception routière pertinent du point de vue des vitesses pratiquées ont été identifiés et quantifiés par des études expérimentales. Diverses mesures visant à réduire les vitesses ont aussi été identifiées et quantifiées.

acceptabilité des vitesses pratiquées

Les entretiens montrent un mécontentement évident en ce qui concerne les vitesses pratiquées actuellement, que ce soit pour les conducteurs eux-mêmes ou pour les usagers vulnérables, en termes de qualité de vie urbaine ou de sécurité routière. Cela montre que malgré les vitesses pratiquées actuellement, le « climat » est plutôt favorable à des stratégies de modération des vitesses.

mise en application des limitations réglementaires

Les mesures d'application des limitations de vitesse sur des points noirs ou des itinéraires donnés peuvent réduire les vitesses de manière significative. Plusieurs facteurs interviennent : l'importance de l'excès de vitesse, l'intensité du contrôle, le système répressif, la publicité faite sur les contrôles. La technologie permet plusieurs solutions assez peu coûteuses et efficaces, à condition que le conducteur n'ait pas à être identifié, et que le propriétaire du véhicule puisse être tenu pour responsable des infractions.

conception des routes

Les réductions de vitesses dues à la conception de l'infrastructure peuvent être obtenues soit par des mesures isolées (par exemple ralentisseurs physiques, signalisation horizontale, réduction de largeur, giratoires, effet de porte en entrée de village, traitement de la surface de la chaussée, ralentisseurs sonores) soit par des mesures intégrées (zones 30 en milieu urbain). Ce type de mesures oblige les usagers à ralentir, plutôt que de les persuader qu'ils doivent réduire leur vitesses de leur propre gré. Il serait préférable de concevoir les routes de manière à ce qu'elles montrent « d'elles-mêmes » à quelle vitesse il faut y conduire.

dispositifs électroniques

Les technologies télématiques permettent de donner un retour d'information aux conducteurs individuels, de mettre en place une limitation de vitesse variable, d'automatiser la commande de vitesse au moyen de limiteurs de vitesse et de régulateurs d'allure adaptatifs. Les technologies sont prometteuses, mais demandent à être validées, du point de vue de leur fiabilité, du comportement induit sur les usagers et de l'acceptabilité. En général, les systèmes dynamiques sont plus efficaces pour réduire les vitesses. Les systèmes informatiques sont d'un autre côté mieux acceptés par les usagers. Divers systèmes ont été étudiés sur un simulateur de conduite et par des essais embarqués.

Une synthèse des vitesses pratiquées et des limitations existantes dans 20 pays européens a été faite.

Vitesses pratiquées et limitations de vitesse

Les limitations de vitesse diffèrent d'un pays européen à l'autre, mais le problème des excès de vitesse est commun à tous les pays, même si les données disponibles ne permettent une comparaison systématique des vitesses pratiquées. Certaines limitations sont dépassées par 80% des conducteurs...

CONNAISSANCE ACTUELLE SUR LES MESURES ET OUTILS DE GESTION DES VITESSES

Critères d'évaluation

Une série de mesures et d'outils de gestion de la vitesse sont décrits et leurs principaux effets évalués. On a distingué les mesures informatives et légales, les mesures liées aux infrastructures, les mesures d'intervention ; les interactions entre mesures sont évoquées. Les pratiques actuelles de gestion de la vitesse en Europe, leur justification et les problèmes rencontrés sont décrits.

Dans ce chapitre, les mesures et outils les plus significatifs sont décrits de manière systématique selon les rubriques suivantes :

1. description de la mesure ou de l'outil, y compris des principales variantes.
2. effets sur les vitesses, sur la vitesse moyenne ou sur sa variabilité. On considère aussi la manière dont l'effet sur la vitesse dépend par exemple, (a) du type de lieu, (b) du niveau de vitesse, (c) de l'écart entre vitesse pratiquée et vitesse limite. Les effets de « halo » en temps et en distance (autour de là où la mesure est mise en œuvre) sont aussi discutés.
3. autres impacts : environnement, coût, installation et maintenance.
4. efficacité : compare les bénéfices aux moyens à mettre en œuvre.
5. divers : par exemple, déplacement des accidents lorsque le trafic est dévié pour éviter les mesures de réduction de vitesse, problèmes d'acceptabilité des mesures, etc.

Mesures informatives et légales

limitations de vitesse fixes

description

Limitations de vitesse indiquées sur des panneaux fixes en bord de route.

effets sur la vitesse

C'est le cœur de la gestion des vitesses dans tous les pays. Des études sur la passage à des limites de vitesse sur des routes rurales dans les années 70 ont montré que ces limitations de vitesse réduisent la vitesse et les accidents de manière significative. Elles restent efficaces même si une part importante de véhicules les dépasse.

autres impacts

Les effets qui en découlent sont une diminution des émissions, du bruit, des coûts d'utilisation des véhicules, et une augmentation des temps de parcours. En ville cependant, le CO et les particules peuvent augmenter.

efficacité

La mise en place de la signalisation et sa maintenance ne coûtent pas cher par rapport aux bénéfices. Les coûts sont surtout dus à l'augmentation des temps de parcours.

divers

Une réduction de la limitation fixe de 20 km/h réduit typiquement la vitesse moyenne de 3 à 8 km/h. Un effet analogue doit exister en milieu urbain. En associant cette limitation à d'autres mesures, par exemple en modifiant l'environnement routier et en augmentant le contrôle répressif, on peut largement renforcer son effet.

En milieu urbain (résidentiel en particulier), la réduction des vitesses peut augmenter la sensation de sécurité et la qualité de vie des riverains.

Les panneaux de limitation de vitesse ne garantissent pas qu'on atteindra les vitesses souhaitées, et en milieu urbain, leur installation doit être complétée par des aménagements sur l'infrastructure.

limitations de vitesse variables

description

Les limitations de vitesse sont indiquées par des PMV en bord de route, en général télécommandés. La limite est modifiée selon par exemple le niveau de trafic, la météo ou l'état de la chaussée.

effets sur la vitesse

Des limitations temporaires de vitesse peut réduire de manière peu importante mais significative la vitesse moyenne pratiquée, et réduire de manière significative la variabilité des vitesses. Elles sont employées lorsque les conducteurs auraient de toutes façons réduit leur vitesses, et la limitation variable induit donc une réduction supplémentaire.

autres impacts

Améliore la crédibilité du système de limitation de vitesses car les limites deviennent plus souples et mieux adaptées aux conditions.

efficacité

Les coûts d'installation et de maintenance sont non négligeables. Si les limitations de vitesse variables sont surtout utilisées pour réduire la vitesses en cas de conditions de conduite difficiles, les bénéfices globaux peuvent dépasser les coûts. En revanche, si elles servent aussi à augmenter les vitesses dans des conditions de conduite idéales, les bénéfices sont bien en dessous des coûts, car le risque d'accident augmente.

divers

Les usagers en général aiment bien les limitations de vitesse variables, ce qui peut favoriser le respect de ces limitations.

Les technologies existent ; les limites de vitesse saisonnières (utilisées en hiver la nuit lorsque les routes sont glissantes) sont une autre forme de limitations variables mises en œuvre en Finlande depuis 10 ans.

Les problèmes de langage et de standardisation méritent une attention particulière, dans le cas de panneaux explicatifs utilisées avec les PMV. Le problème est que les déplacements à travers l'Europe se multiplient, mais que les PMV sont souvent textuels ; l'utilisation de pictogrammes pourrait le résoudre, mais il faudrait se mettre d'accord sur des standards internationaux (pour signaler le brouillard par exemple). Une action pourrait être entreprise par les administrations nationales. Cependant, pour rendre les limitations variables plus appropriées selon les conditions (avec une gamme de vitesses limites plus étendue qu'actuellement), il faudrait modifier les réglementations nationales en vigueur.

limitations de vitesse spécifique à un type de conducteurs ou de véhicules

description

Limitation de vitesse pour certains types de véhicules (PL, 2 roues, remorques...) ou certains types de conducteurs (jeunes conducteurs).

effets sur la vitesse

Similaires aux effets des limitations fixes. Bien que pas toujours respectée, cette mesure réduit de manière importante les vitesses pratiquées. Cependant, elle peut avoir l'effet négatif d'augmenter la variabilité des vitesses.

autres impacts

Réduction des coûts d'utilisation des véhicules, augmentation des temps de parcours.

efficacité

Coût d'installation et de maintenance réduits. L'effet dominant (réduction des coûts dus aux accidents, ou augmentation des temps de parcours) n'est pas clairement établi.

divers

La limitation de vitesse des PL est justifiée par leur performances de freinage moindres, et leur grande énergie cinétique en cas d'accident.

systèmes répressifs

description

Procédures pour appréhender les excès de vitesse et conséquences pour les contrevenants.

effets sur la vitesse

Il n'y a pas de dépendance évidente entre la sévérité des peines pour excès de vitesse et la vitesse pratiquée. En général, augmenter le risque d'être pris est plus efficace qu'augmenter le montant des amendes. Un système où le permis peut être supprimé temporairement, en cas de récidive, peut être efficace.

L'efficacité des systèmes avec caméras dépend du contexte légal. S'il suffit d'identifier le véhicule pour que le propriétaire puisse être tenu comme responsable à moins qu'il ne puisse prouver le contraire est plus efficace qu'un système où il faut identifier le conducteur à partir d'une photo.

autres impacts

Le traitement des délits peut être lourd et impliquer de nombreux traitements manuels par les services de police ou autres.

efficacité

Il n'est pas sûr que l'importance des amendes ait un impact sur le coût d'établissement de ces amendes. L'automatisation de l'identification des contrevenants et du traitement des peines améliorerait grandement l'efficacité. En pratique il faut pour cela que le propriétaire du véhicule puisse être tenu pour responsable.

divers

Les technologies existent pour automatiser les traitements.

recommandations de vitesse

description

Panneaux fixes indiquant des vitesses limites recommandées dans des endroits dangereux (virages, croisements).

effets sur la vitesse

Les recommandations ont en général quelques effets au début, mais ces effets diminuent avec le temps. Sont moins efficaces que des limitations (à la même valeur de vitesse).

autres impacts

efficacité

Coûte peu ; de sorte que même une petite réduction des vitesses peut les rendre avantageux. Cependant une utilisation trop importante, dans des passages où la recommandation de réduire sa vitesse peut ne pas paraître évidente aux conducteurs, peut réduire leur efficacité.

divers

Les conducteurs sont favorables aux recommandations, même si ils ne les respectent pas.

information embarquée

description

Information sur la limitation de vitesse affichée en permanence dans le véhicule.

effets sur la vitesse

Peu ou pas d'effet sur le respect des vitesses.

autres impacts

Cet affichage peut distraire l'attention du conducteur (et augmenter le risque d'accident).

efficacité

Faible. Le coût de l'équipement embarqué est à la charge du conducteur, le coût de l'infrastructure est public.

divers

Très bonne acceptabilité. La technologie existe et des prototypes ont été testés.

affichage dynamique personnalisé

description

Le retour d'information peut être individualisé (par exemple, affichage du message « Ralentissez, votre vitesse est de XX km/h ») ou collectif (« hier les conducteurs étaient xx% à respecter les limitations »).

effets sur la vitesse

Bon effet localement. L'effet peut cependant s'estomper avec le temps lorsque les conducteurs se rendent compte qu'il n'y a pas mesures répressives. Le retour d'information individuel est plus efficace (que le collectif). L'efficacité du système est peut être due au fait qu'on pense qu'elle est associée à un contrôle du respect des limitations de vitesse.

autres impacts

efficacité

L'affichage coûte assez peu cher. Il peut donc être efficace si installé sur des sites potentiellement dangereux.

divers

L'acceptabilité est plutôt bonne. Comme l'effet du dispositif est limitée localement, il faut l'installer sur des sites dangereux où les excès de vitesse sont fréquents. La technologie est disponible.

retour d'information dans le véhicule

description

Retour individuel d'information sur un dispositif embarqué affichant les excès de vitesse ; le dispositif peut être vocal.

effets sur la vitesse

Une réduction de vitesse jusqu'à 50% a été obtenue.

autres impacts

L'afficheur peut distraire l'attention du conducteur.

efficacité

Investissement important, partagé entre le conducteur (système embarqué) et le public (infrastructure).

divers

Bonne acceptabilité. Le retour doit être immédiat ; le retour par un signal auditif (ou sensitif) semble plus ergonomique, surtout en cas d'urgence. La technologie est disponible, mais seulement sous forme de prototypes.

panneaux stop

description

Installation de 4 stops à un croisement de rues.

effets sur la vitesse

Réduction de vitesse significative.

autres impacts

Une état des lieux s'appuyant sur un grand nombre d'études a conclu à une réduction du nombre d'accidents supérieure à 40%. D'un autre côté, les stops augmentent les temps de parcours, les émissions de polluants et le bruit.

efficacité

Installation et entretien peu chers, bonne rentabilité.

divers

Bonne acceptabilité. Le comportement des automobilistes se dégrade un peu avec le temps.

campagne de formation ou de publicité

description

Campagnes dans les médias, les écoles ou les auto-écoles sur les dangers de la vitesse.

effets sur la vitesse

Les effets sur la réduction des vitesses pratiquées n'ont pas été mis en évidence directement. D'une part parce que les effets directs sont très difficiles à mesurer. D'autre part, on peut considérer que les effets d'une seule campagne sont limités, ce qui n'exclut pas la possibilité d'effets cumulatifs importants des campagnes dans le temps.

Par ailleurs, il est souvent admis que la formation à la sécurité routière (y compris la vitesse) est nécessaire au bon fonctionnement du « système ». En outre, les campagnes d'information peuvent amplifier les effets d'une autre mesure (par exemple de contrôle répressif des vitesses).

autres impacts

Les campagnes peuvent mettre en avant l'importance de la sécurité routière dans les décisions publiques. Un intérêt accru pour ce thème peut améliorer l'impact de la campagne.

efficacité

Les coûts sont assez faciles à évaluer, mais pas les effets (en particulier leur prolongement dans le temps).

divers

On propose souvent de mener de telles campagnes en réaction à un problème de sécurité routière. C'est une solution facile dans la mesure où personne ou presque ne peut s'y opposer. Cependant, on n'a pas de raison a priori de penser que ce sera efficace, au moins à court terme.

Mesures liées à la conception routière

ralentisseurs (en saillie)

description

Surélévation de 7 à 15 cm sur la largeur de la chaussée, parfois longue de plusieurs mètres, de forme arrondie ou anguleuse. Utilisée surtout en ville pour faire respecter des vitesses de 40 km/h, voire moins.

effets sur la vitesse

Ces ralentisseurs peuvent être conçus pour atteindre une vitesse donnée (par exemple 30 km/h). En laissant une certaine distance entre ralentisseurs (par exemple pas plus de 70 m), on peut aussi limiter la vitesse pratiquée entre les ralentisseurs.

autres impacts

Peut être désagréable même si on respecte la limitation. Peut augmenter le bruit et les émissions, en particulier si la distance entre ralentisseurs est suffisante pour permettre aux conducteurs d'accélérer entre deux. Les ralentisseurs (et la limitation de vitesse) doivent être bien visibles pour éviter des dégâts causés par une vitesse involontairement élevée. Des reports d'accidents sont possibles si les conducteurs changent leur itinéraire.

efficacité

Dépend de la réduction de vitesse, qui dépend des vitesses pratiquées avant l'installation. L'effet sera meilleur sur des routes où les vitesses sont de l'ordre de 50 km/h, plutôt que 30 km/h. L'effet est meilleur sur des routes fortement circulées que sur des routes à faible trafic.

divers

Une partie des conducteurs est contre en général, mais les riverains y sont favorables. Éviter sur de longs tronçons pour garder une bonne acceptabilité (et un bon respect des vitesses).

ralentisseurs (en creux)

description

ralentisseurs inversés (en creux) par rapport aux précédents.

effets sur la vitesse

Idem que ci-dessus. Les coûts d'entretien peuvent être plus élevés (il faut éviter par exemple

que trop de feuilles obstruent l'écoulement des eaux).

autres impacts

efficacité

divers

Peut aussi convenir sur des itinéraires de bus, car de grands véhicules (bus) peuvent les franchir sans encombre, à la différence des VP. L'acceptabilité est moindre que pour les ralentisseurs en saillie.

réduction de largeur

description

Réduction de la largeur de la route, ou chicanes qui obligent à réduire la vitesse. Peut être associé à des structures (par exemple, des « portes », ou des plantations) qui réduisent la distance de visibilité et renforcent la perception de l'étrécissement de la route. Utilisé typiquement pour réduire la vitesse à 50 km/h ou moins en milieu urbain.

effets sur la vitesse

Effets très variables, sans doute car la conception de l'aménagement et la situation initiale du trafic sont très variables également.

autres impacts

Si la largeur est trop étroite pour faire passer 2 véhicules de front, le risque de collision peut augmenter. Les accidents peuvent se reporter ailleurs si les conducteurs changent leur itinéraire pour éviter l'aménagement.

efficacité

Dépend de la réduction des vitesses pratiquées, qui dépend de la conception de l'aménagement et de la configuration initiale du trafic, et du volume de trafic.

divers

Il n'y a pas de recommandations générales sur la conception de ces aménagements pour l'instant, de sorte qu'il est difficile de prédire l'effet induit par un aménagement en particulier.

giratoires

description

Intersection séparant physiquement des sections de route et décourage une conduite rapide. Le véhicule sur le giratoire a en général priorité sur les véhicules entrants, ce qui va dans le sens d'une réduction des vitesses. De plus, les giratoires présentent l'avantage de réduire largement la proportion des accidents frontaux ou à angle droit, par rapport à un aménagement traditionnel de carrefour.

Le diamètre des giratoires « traditionnels » est de taille importante (de quelques mètres à plusieurs dizaines). Les mini-giratoires sont de taille réduite, et il est parfois possible de rouler sur l'îlot central pour permettre à des grands véhicules de négocier leur virage.

effets sur la vitesse

Les giratoires (et en particulier les mini-giratoires) peuvent réduire de manière significative les vitesses à des intersections en ville. L'importance de l'effet dépend du mouvement latéral auquel le véhicule est contraint par le giratoire, et du niveau des vitesses avant l'aménagement du giratoire. La réduction des vitesses entre giratoires dépend de leur inter-distance.

autres impacts

Par rapport aux carrefours à feux et jusqu'à un certain niveau de trafic, les giratoires peuvent réduire les durées d'attente, le bruit et les émissions, et les coûts d'utilisation. D'un autre côté, ils peuvent être moins avantageux que des croisements prioritaires (entre des routes très fréquentées et des routes secondaires). Un report d'accident peut avoir lieu au cas où les conducteurs changent leur itinéraire.

efficacité

Dépend de la réduction des vitesses constatée, qui dépend des dimensions et des vitesses avant l'aménagement. Le volume de trafic et sa répartition entre les branches de l'intersection ont aussi

un effet sur l'efficacité.

divers

Pour tous les giratoires, il faut prendre en compte les cyclistes, motards et les piétons dès la conception, afin de ne pas augmenter le risque d'accident les concernant.

effets de porte en entrée de village

description

Structures indiquant clairement l'entrée de ville ou de village afin de réduire les vitesses. Ce peut être des réductions de largeur ou des chicanes, des îlots centraux, des blocs ou des plantations qui renforcent la perception de l'étroitesse de la chaussée, associés à une signalisation et à un marquage de la chaussée.

effets sur la vitesse

Dépend beaucoup de la conception ; certains aménagement sont des réussites, d'autres des échecs.

autres impacts

Ces aménagements augmentent le niveau d'attention des conducteurs.

efficacité

Dépend surtout de l'effet obtenu en termes de réduction des vitesses.

divers

Les effets de porte ont un effet local et doivent être renforcés par d'autres mesures afin d'obtenir des vitesses réduites dans toute la traversée du village.

signalisation horizontale

description

Les peintures de signalisation horizontale (îlot, accotement) peuvent renforcer l'image d'une route étroite et la sinuosité, en entrée de ville ou dans les virages serrés. On peut aussi élargir les accotement stabilisés pour réduire la largeur de la route, sur des distances plus importantes.

effets sur la vitesse

Cette mesure réduit souvent la vitesse, sans doute d'autant plus que la route est de viabilité médiocre. L'effet décroît avec le temps.

autres impacts

Réduire la largeur des voies en virage peut obliger les poids lourds à couper les virages et causer des conflits avec les piétons et les cyclistes sur les accotements.

efficacité

Les coûts sont en général faibles, la rentabilité est donc souvent bonne. L'impact sur les vitesses pratiquées dépend des caractéristiques de la route et des détails de conception.

divers

L'utilisation systématique de ces effets visuels peut réduire leur efficacité.

ralentisseurs sonores

description

Les « bandes sonores » sont placées à intervalles décroissants sur la chaussée et augmentent la sensation de vitesse, typiquement à l'approche d'une intersection. Parfois les lignes délimitant les bas-côtés sont aussi sonores.

effets sur la vitesse

Ces bandes réduisent efficacement la vitesse. Les surfaces pavées ou en briques (en zone résidentielles) sont aussi employées à cet effet. Les lignes sonores réduisent les franchissements intempestifs, mais n'ont pas d'effet clair sur la vitesse.

autres impacts

Le bruit généré par les bandes sonores peut être une nuisance pour les riverains, ce qui peut les rendre inacceptables sur les rues principales. Les surfaces sonores ont par ailleurs une macro-texture de surface qui réduit les risques d'hydroplanage et donc d'accident.

efficacité

Cette mesure est efficace dans beaucoup de cas ; les briques et les pavés, étant donné leur coût, sont réservés à des sites urbains bien particuliers.

divers

La micro-texture du revêtement doit être peu glissante.

Les effets peuvent s'estomper avec le temps car les usagers riverains s'y habituent.

guidage visuel

description

Une visibilité réduite augmente l'incertitude sur le trafic aval et pousse le conducteur à ralentir. Les bâtiments, barrières et autres structures réduisent la distance de visibilité en milieu urbain. Améliorer le guidage visuel va dans le sens opposé, par exemple en rendant les marquages plus voyants ou en installant des réflecteurs (en zone rurale).

effets sur la vitesse

Une visibilité réduite aux croisements a tendance à réduire la vitesse. Réciproquement, le guidage visuel provoque une augmentation des vitesses, surtout sur des routes de viabilité médiocre.

autres impacts

efficacité

Un guidage très visible sur les petites routes campagne n'est pas forcément rentable.

divers

Les conducteurs apprécient le guidage visuel, sans doute car il facilite la conduite, surtout de nuit. Il n'est pas sûr sur les réductions de vitesse dues à une distance de visibilité réduite sont assez importantes pour compenser le risque que les accidents augmentent. Bien que le guidage visuel tende à faire augmenter les vitesses, un niveau minimal de guidage (par le marquage de la ligne centrale, des lignes latérales, ou les deux) est nécessaire à la sécurité de la conduite.

modération du trafic

description

Traitement intégré de zones ou de sections en milieu urbain associant divers types de mesures de réduction de la vitesse, ainsi souvent que d'autres mesures (fermeture de voies, sens uniques, réorganisation de la hiérarchie du réseau viaire).

effets sur la vitesse

Souvent importants, mais dépendent du type de mesures mis en œuvre, des détails de la conception et des niveaux de vitesse avant l'aménagement.

autres impacts

Peut induire des changements d'itinéraires itinéraires, et un report des accidents. Réduit le bruit, améliore la qualité de vie de manière générale.

efficacité

Dépend de la conception et du budget consacré aux autres objectifs que la réduction des vitesses (esthétique, par exemple).

divers

En général soutenu par les riverains, mais quelques mesures (fermetures de voies à la circulation) ne sont pas appréciées des automobilistes.

adaptation de l'environnement des traversées de ville

description

Le but est de reconcevoir les aménagements le long des traversées de ville ou de quartier pour que l'impression visuelle donnée aux conducteurs les fasse ralentir, en combinant plusieurs mesures : effets de porte en entrée de ville, ralentisseurs sonores, chicanes, réduction de largeur, îlots, mini-giratoires, peintures au sol, etc.)

effets sur la vitesse

Peuvent aller jusqu'à une réduction de 15 km/h.

autres impacts

La sécurité des usagers vulnérables s'améliore (un état des lieux norvégien datant de 97 a conclu à une réduction du nombre d'accidents de 30 à 50%). Par compensation, ces mesures peuvent induire le fait que les conducteurs roulent plus vite en dehors de la zone aménagée. Rallongement des temps de parcours.

efficacité

Coûte assez cher. Les effets sur les accidents dépendent de la diminution constatée des vitesses, et sont nuls si les vitesses n'ont pas changé.

divers

Les riverains et les commerçants apprécient, mais les automobilistes pas toujours.

routes lisibles

description

Une conception routière qui corresponde aux attentes des conducteurs, et qui les fasse choisir naturellement la vitesse adaptée. En pratique cela passe par l'introduction d'un petit nombre catégories de routes, ayant chacune des caractéristiques bien distinctes.

effets sur la vitesse

Réduit en général la variabilité des vitesses. Les aménagements nécessaires pour mettre en place ce concept peuvent augmenter ou réduire la vitesse moyenne, sur une route donnée. Cependant, comme les augmentations de vitesse sont dus à une amélioration de la route, cela ne diminue pas forcément la sécurité.

autres impacts

On s'attend à ce que cette mesure améliore de manière sensible la sécurité en touchant d'autres aspects du comportement que le choix de la vitesse pratiquée. Par exemple, elle tend à améliorer l'anticipation des conducteurs. Les plus grand bénéfiques proviennent sans doute d'autres améliorations que de la réduction des vitesses proprement dite.

efficacité

Réduit la variabilité des vitesses. Le coût d'aménagement peut être élevé, mais il est moins important si les adaptations sont faites progressivement dans le cadre de l'entretien normal de la route.

divers

Un concept prometteur pour une systématisation à long terme du réseau routier.

Mesures dynamiques

contrôle des vitesses classique

description

Le contrôle des vitesses par les forces de l'ordre, avec mesure des vitesses par radar (ou autre dispositif). Les contrevenants sont arrêtés et verbalisés. Le dispositif de mesures est soit visible, soit caché.

effets sur la vitesse

Effet significatif, mais limité dans le temps et l'espace. Les effets durent typiquement quelques km en aval, et quelques jours. Des effets durables et étendus exigent des contrôles fréquents et mobiles. L'effet est augmenté si certains dispositifs de mesure sont cachés, par effet de surprise.

autres impacts

Plusieurs agents sont nécessaires sur le site, alors qu'ils pourraient être employés ailleurs.

efficacité

Coûte cher, et la rentabilité est faible car les effets sont limités dans le temps et l'espace.

divers

Les conducteurs sont favorables à ce genre de mesure, sauf peut-être si les contrôles sont cachés.

contrôle des vitesses automatisé

description

La mesure des vitesses et l'identification des véhicules sont automatisées. Les véhicules en excès de vitesse n'ont pas à être arrêtés. Aujourd'hui l'identification s'appuie sur des photos des véhicules et des conducteurs. La technologie actuelle permettrait une identification plus efficace si des balises électroniques obligatoires étaient installés sur les véhicules.

effets sur la vitesse

Réduit la vitesse mais l'effet est limité dans le temps et l'espace. Peut être amélioré en installant quelques boîtiers de caméras le long de la route et déplaçant la caméra d'un boîtier à l'autre. En informant les conducteurs que la route est surveillée (par des panneaux ou un retour d'information sur les vitesses pratiquées) améliore encore le dispositif. Un contrôle effectué 12 heures pendant 5 jours est nécessaire pour obtenir un bon taux de respect des limitations de vitesse.

autres impacts

L'identification automatique est objective. Beaucoup de travail supplémentaire est nécessaire si il faut identifier le conducteur à partir d'une photo.

efficacité

Beaucoup plus efficace que la méthode traditionnelle (ci-dessus), et encore plus si on n'a pas besoin d'identifier le conducteur et que le propriétaire du véhicule est tenu pour responsable.

divers

Les conducteurs sont plutôt favorables à ce contrôle automatisé.

régulateur d'allure adaptatif

description

Ce dispositif (« intelligent / adaptive cruise control ») aide le conducteur à adapter sa vitesse aux conditions environnantes, typiquement en tenant le véhicule à une distance donnée de celui qui le précède. Le dispositif peut s'adapter aux changements de limitation de vitesse, ce qui ne veut pas dire que les excès de vitesse soient rendus impossibles.

effets sur la vitesse

Diminue la variabilité des vitesses entre véhicules. Peut augmenter la vitesse car peut augmenter la sensation de sécurité du conducteur.

autres impacts

Peut conduire à un comportement dangereux dans la mesure où l'attention du conducteur est réduite.

efficacité

Moindre que celle des limiteurs de vitesse embarqués.

divers

Le régulateur d'allure n'est pas un limiteur de vitesse, c'est un dispositif de confort, qui ne fonctionne que dans une certaine plage de vitesses. Ce n'est pas non plus un système anti-collision, car c'est le conducteur qui doit intervenir et freiner en cas de situation urgente. Le système peut améliorer la capacité des infrastructures, dans la logique de projets de type « autoroute automatique » [55].

limiteurs de vitesse embarqués

description

Ce dispositif empêche le conducteur d'accélérer au-delà de la vitesse en vigueur. L'information sur la limitation en vigueur est transmise au véhicule par exemple par des balises installées en bord de chaussée ou par satellite, ce qui permet des ajustements en quasi temps réel,

selon le trafic, la météo et l'état de la chaussée. A noter une expérience suédoise récente [52], ainsi qu'un projet de recherche en cours à l'Université de Leeds, financé par le ministère britannique [57].

effets sur la vitesse

Interdit les excès de vitesse, sauf en descente où le véhicule peut accélérer par gravité au-delà de la limitation. Réduit la variabilité des vitesses.

autres impacts

Quelques changements de comportements nuisibles peuvent apparaître : réduction des inter-distances, freinage retardé à l'approche des intersections, baisse de la vigilance.

efficacité

Équiper tous les véhicules et mettre en place le système coûterait cher, mais les bénéfices sont importants.

divers

L'acceptabilité dépend des pays. En moyenne, 30% des conducteurs approuvent les limiteurs de vitesse automatiques et 90% seraient pour des dispositifs réglables manuellement. L'acceptabilité est plus importante en zone urbaine que rurale. Une introduction graduelle de limiteurs pourrait poser des problèmes.

Peu de mesures ont un potentiel d'amélioration de la sécurité comparable à celui des limiteurs automatiques de vitesse.

Interactions

Les mesures de gestion de vitesse sont souvent utilisées de manière combinée. Un exemple typique est la modération des vitesses, où une approche intégrée combine systématiquement plusieurs mesures. L'idée est d'être adapté au site, tout au long de la zone ou de la section traitée. Le long d'une section de route, des mesures peuvent être successivement utilisées sur plusieurs tronçons, en essayant qu'il n'y ait pas de « trous » de façon que le conducteur ne soit pas tenté de trop augmenter sa vitesse entre les tronçons.

Plusieurs mesures peuvent aussi être appliquées simultanément ; par exemple, la limitation et le contrôle de la vitesse, ou la campagne d'information et le contrôle répressif, etc.

L'ampleur des interactions due à l'association de plusieurs mesures est très peu connue ; par définition, une interaction nulle signifie que les effets s'additionnent, mais attention, les effets sur les vitesses ne sont pas linéaires.

Pratiques actuelles en matière de gestion des vitesses

Les limitations de vitesse sont à la base de la gestion des vitesses en Europe. La vitesse est limitée partout sauf sur quelques sections d'autoroute en Allemagne. Le contrôle des excès de vitesse est effectuée par les forces de l'ordre, selon des modalités diverses, typiquement avec une mesure par un dispositif radar, arrêt et verbalisation du contrevenant. L'utilisation de caméras s'est répandue ; dans certains pays le propriétaire peut être tenu pour responsable des excès de vitesse, dans d'autres le conducteur doit être identifié.

Dans tous les pays, les camions ont une limitation spécifique entre 70 et 100 km/h. Les conducteurs apprentis peuvent aussi être sujets à ce genre de limitations. Des limitations locales sont souvent appliquées à proximité des écoles ou de sites dangereux par exemple. Des limitations variables sont parfois mises en œuvre, en général sur autoroute, en cas de trafic chargé ou de mauvaise météo.

Des recommandations par panneaux fixe sont largement utilisées, dans les virages en particulier.

Des campagnes d'information sur les dangers de la vitesse et sur les bonnes vitesses à adopter sont mises en place dans de nombreux pays.

Des mesures physiques sont de plus en plus employées (ralentisseurs, chicanes, réduction de largeur) surtout dans les zones résidentielles. Les giratoires sont utiles pour la gestion des

vitesse ; ils sont fréquents dans certains pays, rares dans d'autres. La modération des vitesses fait appel à une série de mesures visant à réduire les vitesses sur un axe ou une zone ; elle est mise en œuvre largement dans certains pays (Pays-Bas), mais peu dans d'autres.

En zone rurale, les ralentisseurs sonores sont peut être la mesure la plus courante. A cause des vitesses pratiquées plus élevées et du risque qu'un ralentissement cause un accident, ils sont rarement utilisés sur les routes principales. À l'inverse, on a tendance à faire des routes larges et rectilignes, de dégager la visibilité, car toute déviation d'un certain standard augmente le risque d'accident. Ce n'est pas forcément la meilleure solution, car cela augmente aussi les vitesses pratiquées.

D'un point de vue administratif, la responsabilité de la gestion des vitesses incombe à plusieurs autorités (État, collectivités, police, etc.). Le rôle de la communauté européenne et des constructeurs automobiles est plutôt limité pour l'instant. Bien qu'il y ait une coopération entre autorités et des guides techniques de conception routière, par exemple, la gestion des vitesses consiste largement en des actions indépendantes qui ne font pas partie d'un plan à long terme, en particulier en zone rurale où les autorités locales peuvent avoir des points de vue différents en matière de gestion des vitesses, et des ressources très variables.

Questions auxquelles la gestion des vitesses doit répondre

1. 40000 morts et 1,6 millions de blessés sur les routes dans les 15 pays ; la vitesse facteur d'insécurité.

2. une certaine diversité des limitations de vitesse d'un pays à l'autre.

3. le choix des limitations de vitesse n'est pas toujours pertinent et fondé sur des critères systématiques.

4. les limitations sont mal respectées ; le phénomène s'accroît.

5. les coûts perçus par les automobilistes ne sont pas les coûts sociaux ; les conducteurs sous-estiment les coûts des accidents et les impacts sur l'environnement et sur-estiment la valeur du temps. Les limitations de vitesse sont donc perçues comme trop basses.

6. par conséquent, la gestion des vitesses doit d'abord s'attaquer à la réduction des vitesses ; les décideurs doivent donc aller à l'encontre de l'opinion.

7. la crainte d'aller à l'encontre de l'opinion peut pousser à mettre en place des mesures bien acceptées mais parfois inefficaces ; les mesures impopulaires doivent encore faire leurs preuves avant de pouvoir être appliquées.

RECOMMANDATIONS POUR LA GESTION DES VITESSES

Principes de base

Les principes de base sur lesquels s'appuient les recommandations en matière de gestion de trafic sont décrits, en cohérence avec la politique européenne des transports. Il est recommandé que les limitations de vitesses s'appuient sur une évaluation globale des effets, afin de s'assurer que les vitesses qui en résulteront s'accordent avec le principe selon lequel les vitesses pratiquées doivent traduire un équilibre socialement souhaitable entre tous les effets dus à la vitesse, et une répartition équitable de ces effets entre les différents groupes constituant la population.

1. la gestion des vitesses passe par 2 phases : définir les vitesses cibles, choisir et mettre en place les mesures et les outils appropriés.

2. la gestion des vitesses en Europe doit refléter les objectifs de la politique de transport commune.

3. la gestion des vitesses doit trouver un équilibre entre les besoins nationaux et régionaux et le besoin d'une harmonisation européenne

4. la gestion des vitesses doit être approuvée par les usagers (automobilistes, ou pas), mais l'opinion publique ne doit pas peser trop lourd dans le choix des mesures à mettre en place.

5. les choix doivent être fondés sur des principes formulés explicitement, et une prise en compte de tous les effets.

6. les vitesses doivent respecter des principes d'équité, refléter l'environnement routier, être « rentables ».

7. les outils doivent tirer parti des technologies disponibles

8. les différentes autorités et organisations concernées doivent se retrouver autour des objectifs généraux de gestion des vitesses. Il faut un plan à long terme pour guider et le développement des outils et la mise en place des mesures.

Vitesses cibles

Il est utile pour les décideurs d'être aussi bien informés que possible que les effets que peut avoir toute politique de gestion des vitesses qu'ils envisagent, non seulement pour leur prise de décision, mais aussi dans le travail de consultation des usagers, et dans l'estimation de l'acceptabilité. MASTER a développé un cadre d'aide à la décision précisément dans ce but.

Ce cadre regroupe diverses règles qui doivent guider le processus d'évaluation, ce n'est pas une « boîte noire ». Les fonctions d'impact qui rendent compte des divers effets sont choisies par l'utilisateur pour refléter les conditions locales et les pratiques de monétarisation.

Le point de départ a été une analyse des coûts-bénéfices socio-économiques (estimation des effets et de leur répartition). Il est admis que tous les effets ne peuvent être monétarisés. Le cadre ne sert pas qu'à calculer les effets totaux, il est utile pour déterminer les perdants et les gagnants, en d'autres termes la manière dont les effets sont répartis.

Une décision importante est de savoir si l'on évalue au niveau « réseau » ou si le niveau « tronçon » est suffisant. Le niveau « réseau » rend compte des effets indirects de la vitesse sur les trafics, et peut être lourd à étudier. Le niveau « tronçon » est plus simple car il fait l'hypothèse que la vitesse ne joue pas sur les volumes de trafic.

L'application de ce cadre devrait permettre d'obtenir toutes les informations importantes (données et méthodes), pas seulement les résultats. Il s'agit d'un processus transparent, ouvert au débat. On admet que les effets quantitatifs à diverses échelles et les effets qualitatifs ne peuvent être agrégés inconsidérément ; ce sera aux décideurs de pondérer les critères.

Une feuille Excel a été développée, dont un exemple d'utilisation pratique est donné. Des tests ont confirmé que les difficultés d'utilisation résidaient surtout dans la capacité qu'aura l'utilisateur à spécifier les fonctions d'impact et les modèles, et à rassembler les données

nécessaires.

Mesures et outils pour atteindre les vitesses-cibles

Enfin, des recommandations pour les outils et mesures de gestion des vitesses sont proposées pour 4 catégories de routes : quartier résidentiel urbain, réseau urbain principal, routes rurales à trafic « mixte », autoroutes. Ces catégories couvrent pratiquement toutes les routes, et diffèrent entre elles du point de vue de la géométrie, de l'environnement, des vitesses et de la sécurité. Pour chaque catégorie, les points clés sont présentés et des recommandations sont faites à court et long terme.

Des recommandations ou standards européens faciliteraient la cohérence des mesures de gestion des vitesses, même si ils doivent prendre en compte des variantes locales ou régionales.

zone urbaine résidentielle

état des lieux

Le vitesse est importante pour la qualité de vie urbaine ; les cyclistes, piétons et enfants doivent être pris en compte. La limite est entre 30 et 50 km/h ; elle n'est quasiment pas contrôlée. Les vitesses pratiquées sont entre 30 et 60, la variabilité est importante et les excès assez fréquents (surtout si limitation est de 40 ou moins). Les autorités locales (municipales) sont responsables de la gestion des vitesses.

recommandations à court terme

La limitation devrait être à 30, voire moins sur certains tronçons aménagés. Les limitations doivent être associées à d'autres mesures permettant de les faire respecter.

Puisque le trafic y est peu important, seules des mesures peu coûteuses peuvent être rentables, mais les bénéfiques sont aussi dus à l'amélioration de la qualité de vie. La 1^{ère} mesure est la mise en place de ralentisseurs ; d'autres mesures adéquates sont les mini-giratoires, les stops et le traitement des entrées de village ou de quartier. Chicanes, rétrécissements ou marquages au sol ont un effet parfois réduit. Des mesures de modération des vitesses sur une zone peuvent être efficaces, mais peuvent reporter le trafic et les problèmes sur une autre zone. Pour les quartiers récents, la conception des aménagements peut être mise au service de la gestion des vitesses.

recommandations à long terme

Les zones résidentielles seraient adaptées à la mise en place à grande échelle de limiteurs de vitesse, où ils seraient mieux acceptés par les automobilistes.

réseau urbain principal

points-clés

Le trafic est important, avec parfois une forte présence de piétons et cyclistes. Les accidents sont fréquents, peu graves s'ils n'impliquent pas de piétons ou deux-roues. La responsabilité de la gestion des vitesses revient en général aux autorités municipales. La limite est typiquement de 50, peu contrôlée, largement dépassée, la variabilité des vitesses importante.

recommandations à court terme

Une limitation à 50 est trop élevée si les piétons et cyclistes sont nombreux et ne peuvent pas être séparés du trafic principal. Aux endroits où les flux sont mélangés (croisements, écoles, passages piétons) les limites doivent être respectées, et réduites à 30.

Une solution efficace est de contrôler les vitesses automatiquement par caméras que l'on peut déplacer facilement le long d'un axe. L'efficacité est accrue par une information simultanée dans les médias et en bord de route.

Les mesures d'aménagement physiques peuvent aussi contribuer à la réduction des vitesses ; les ralentisseurs en saillie ne sont pas appropriés, en particulier à cause des bus et PL, les ralentisseurs en creux conviennent mieux mais ont des coûts élevés. Les mini-giratoires sont tout à fait appropriés. Un marquage des limitations au sol peut compléter le dispositif. Des aménagements d'infrastructure, même chers, peuvent être rentables sur les « points noirs », en particulier lorsque les excès de vitesse sont importants et le nombre de cyclistes et piétons élevé.

recommandations à long terme

Le retour d'information dans les véhicules, et les limiteurs de vitesse adaptatifs sont des outils efficaces et durables à long terme en milieu urbain. Des tests à grand échelle sont nécessaires pour faire sortir ces outils des laboratoires. Une solution intermédiaire est le contrôle automatique du respect des vitesses au moyen de dispositifs d'identification installés sur les véhicules, qui oblige du point de vue légal à ce qu'on puisse pénaliser le propriétaire du véhicule en excès de vitesse.

Des études complémentaires sur l'adéquation de la limitation à 50 semblent par ailleurs nécessaires.

routes de rase campagne

points-clés

Typiquement routes de 2x1 à 2x2 voies avec d'importantes variations de géométrie et de trafic, peu de vélos ou de piétons sauf près des habitations. Accidents pas forcément fréquents, mais souvent graves. La responsabilité de la gestion des vitesses est souvent partagée entre autorités nationales et locales, bien que les limitations soit quasiment toujours fixées nationalement, entre 70 et 100. Le contrôle des vitesses est effectué de temps en temps, par radars ; le contrôle automatique par caméra est encore rare, voire inexistant dans certains pays mais se développe. L'effet de la vitesse sur les accidents a été étudié à maintes reprises. Les excès de vitesse sont assez fréquents y compris en traversée de ville, surtout sur les routes peu fréquentées, mais les distributions des vitesses et le pourcentage d'excès est très variable selon les pays ; les mesures à recommander doivent donc différer d'un pays à l'autre. L'adaptation de la vitesse aux conditions (nuit, chaussée glissante, visibilité) n'est pas satisfaisante.

vitesses actuelles

recommandations à court terme

Il faut clairement réduire les excès de vitesse ; on peut le faire en augmentant les limitations, mais la réduction des vitesses semble la voie la plus appropriée du point de vue de la sécurité. L'analyse coût/bénéfice des mesures de gestion de vitesse dépend du niveau et du type de trafic, de la réduction de vitesse à atteindre.

Selon la géométrie existante, des marquages (sonores, etc.), un rétrécissement et un renforcement des accotements vis-à-vis des piétons et des cyclistes peuvent contribuer à réduire les vitesses.

Un contrôle automatisé (caméras), accompagné de mesures d'information, devrait être mis en place aux points difficiles. Des dispositifs de retour d'information (sur PMV) sont également efficaces et assez peu chers.

Les entrées de village doivent être aménagées de façon à réduire la vitesse. Le réaménagement de l'infrastructure peut coûter cher mais est à comparer au prix d'une déviation.

Des PMV peuvent être mis en place pour réduire les limitations en cas de mauvaises conditions (météo, etc.), et peuvent être efficacement complétés par l'affichage d'un retour d'information sur les vitesses pratiquées. Les PMV coûtent cher mais peuvent être très efficaces en termes de sécurité.

recommandations à long terme

Le concept de route lisible (« self-explaining road ») devrait être développé : il passe par une re-conception progressive de tout le réseau en vue d'homogénéiser les vitesses. Des études complémentaires sur l'effet de la vitesse sur différents types de routes permettraient de mieux décider des limitations appropriées. Des recherches sur le retour d'information dans le véhicule et les limiteurs de vitesse adaptatifs sont nécessaires pour connaître leur acceptabilité et leur efficacité en rase campagne et leur intérêt en cas de mauvaises conditions météo par exemple.

point de vue administrative

autoroutes

points-clés

Réseau à voies séparées réservé aux véhicules à moteur, fort trafic, peu d'accidents, mais avec la spécificité des accidents en série, en cas de congestion ou de mauvaise visibilité. La gestion des vitesses est typiquement du ressort de l'autorité nationale. Limitations de 90 à 130 (sauf en Allemagne). Le contrôle des vitesses « traditionnel » n'est pas facile à mettre en place (sauf dans les heures creuses et par beau temps) car l'arrêt d'un véhicule contrevenant peut être dangereux.

Les excès de vitesse sont fréquents, d'autant plus que les PL doivent respecter une limitation différente, la vitesse pratiquée et la variabilité dépendent beaucoup du niveau de congestion.

Le respect des limitations doit être amélioré. Comme le trafic est élevé, des mesures peuvent être rentables même si elles coûtent cher. L'harmonisation des limitations des vitesses en Europe est à rechercher, en particulier sur le réseau trans-européen (TERN).

recommandations à court terme

Le contrôle automatisé des excès de vitesse doit être mis en place, en priorité sur les sections critiques, en association avec des mesures d'information, et si possible avec un retour d'information sur les vitesses pratiquées par PMV.

Des ralentisseurs sonores peuvent être installés sur certaines sorties (mais leur effet est limité dans le temps).

recommandations à long terme

Il faut harmoniser les limitations de vitesse sur autoroute, en s'appuyant sur des études proposant les vitesses les plus appropriées selon le type de section, le trafic, les géométries, le nombre de sorties, le type de chaussée, les conditions de visibilité et de météo ; le concept de route lisible s'applique aussi aux autoroutes.

Les véhicules devraient être équipés avec des limiteurs de vitesse prenant en compte la vitesse maximale autorisée. Des recherches complémentaires sur l'application d'outils tels que l'information embarquée et les limiteurs adaptatifs dans le contexte autoroutier sont encore nécessaires.

Il faut développer les outils de contrôle automatisés des forces de police. La communauté européenne pourrait enfin limiter la vitesse maximale des voitures.

CONCLUSIONS

Recommandations en matières de mesures, d'outils et de politique de gestion des vitesses

1. Les limitations de vitesses sur des routes de catégorie similaire devraient être harmonisées d'un pays européen à l'autre afin que les usagers adoptent « naturellement » la bonne vitesse lorsqu'ils empruntent des routes dans d'autres pays.

2. Des recommandations européennes sont nécessaires pour l'application des mesures et outils de gestion des vitesses, afin de promouvoir une gestion rationnelle et cohérente à la fois sur les routes urbaines, où de nombreuses mesures sont possibles, et en rase campagne où le choix de mesures peu coûteuses est plus réduit.

3. Il faut commencer à préparer l'introduction obligatoire de limiteurs de vitesse adaptatifs ; de tels dispositifs interdisent de dépasser une certaine vitesse en fonction de la limitation en vigueur. La première étape pourrait être de conduire de grandes expérimentations sur le terrain en milieu urbain, dans plusieurs pays. Les routes urbaines sont le meilleur terrain d'expérimentation, car c'est là que l'acceptabilité est la meilleure et que les effets négatifs (par exemple adaptation des comportements) sont potentiellement les plus faibles.

4. La re-conception de routes européennes pour les rendre plus « lisibles » doit comprendre une classification en un nombre restreint de catégories, afin que chaque niveau ait des caractéristiques claires qui le distingue nettement des autres niveaux. Une classification simplifiée faciliterait le bon choix de la vitesse par les conducteur, pour chaque type de route, et aurait aussi des retombées positives en matière sécurité en facilitant l'anticipation du comportement des autres usagers.

5. L'automatisation des mesures pour faire appliquer les limitations de vitesse doit être mise en œuvre plus largement. Dans certains pays, la loi devrait changer pour que le propriétaire du véhicule soit tenu pour responsable des infractions. En outre, un standard commun d'identification électronique des véhicules pourrait être développé. Les véhicules contrevenants sont identifiés actuellement à partir de photos, ce qui implique des traitements manuels souvent laborieux. De tels dispositifs d'identification électroniques pourraient aussi être utilisés pour la paiement de parkings ou de péages routiers. De plus, des équipements (tels que des boucles et des stations de recueil de données) utilisés aujourd'hui seulement pour la surveillance du trafic pourraient aussi être employés dans un but répressif de contrôle des vitesses.

6. La différence entre les effets de la vitesse sur les coûts sociaux et sur les coûts pour les individus devrait être réduite, en internalisant des coûts externes (accidents, impacts sur l'environnement). Cela encouragerait les conducteurs à adopter des vitesses qui sont préférables du point de vue de la société, et pas seulement du leur.

7. Les campagnes d'information et de publicité relatives aux effets de la vitesses doivent être développées, avec pour objectif de donner un point de vue neutre et objectif sur tous les effets dus à la vitesse, en insistant sur la différence entre coût social et coût privé. Cela pourrait améliorer l'acceptabilité, mais n'empêchera pas que les décideurs doivent reconnaître que la popularité n'est pas forcément un bon critère en matière de mesures de gestion des vitesses.

8. Les vitesses maximales des véhicules devraient être limitées aux vitesses maximales autorisées sur autoroutes, lesquelles devraient être harmonisées en Europe.

Recommandations pour la recherche

1. Des recherches complémentaires sur la modélisation des effets de la vitesse sur les émissions, le bruit, les coûts d'utilisation des véhicules ainsi que sur les coûts liés au temps sont nécessaires afin que la détermination des vitesses cibles soient plus facile à obtenir à partir de la relation entre la vitesse et ces différents facteurs.

2. La connaissance actuelle des effets de niveau « réseau » est insuffisante, en particulier en ce qui concerne l'élasticité vitesse / volume de trafic.

3. Plus d'informations doivent être collectées sur l'utilisation des différents types de routes lors de différents types de trajets, afin d'améliorer l'évaluation des effets des politiques de gestion de la vitesse.

4. Il faut poursuivre les investigations en matière d'impacts des changements de vitesse sur l'occurrence des accidents. En particulier, l'introduction de limiteurs de vitesse et l'amélioration des mesures de contrôle du respect des limitations doivent pouvoir modifier la distribution des vitesses, et les effets de ces changements sur les accidents ne pourront être correctement prédits sur la base des études existantes qui relient vitesse et occurrence d'accidents.

5. La monétarisation des effets de la vitesse (valeur du temps, impacts sur l'environnement et accidents) présentent d'importantes variations d'un pays à l'autre. Une recherche visant à uniformiser cette monétarisation faciliterait une harmonisation des vitesses.

6. Il faut faire progresser les recherches sur la mise au point de procédures bien acceptées qui tiennent compte des effets redistributifs et des questions d'équité liées à une modification des vitesses limites et pratiquées.

7. Les pratiques actuelles en matière de recueil des données de vitesses selon le type de routes varient d'un pays à l'autre. Des pratiques standardisées permettrait de mieux cerner les problèmes.

8. Il faut prolonger les recherches sur les systèmes embarqués. Les perspectives de pouvoir s'adapter selon la météo et l'état de la route sont à explorer. Les adaptations du comportement doivent être étudiées. L'acceptabilité, l'efficacité et l'ergonomie des divers types de systèmes doivent être étudiés afin de pouvoir faire des recommandations en matière de conception, ainsi que de stratégies et de calendrier de mise en place.