



UNIVERSITÉ DE MARNE-LA-VALLÉE
INSTITUT FRANCILIEN DES SCIENCES APPLIQUÉES

Master «Génie Urbain»
Spécialité «Développement Urbain durable»

MEMOIRE DE MASTER 2

La gestion dynamique de la route

Les réponses des infrastructures routières aux enjeux de la mobilité durable

Jérôme Bouillon

AVANT-PROPOS

La notion de développement durable fait son entrée sur la scène politico-médiatique en 1987 à la suite des travaux de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU, dite Commission Bruntland. La définition du développement durable retenue par le Rapport Bruntland est la suivante :

«Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.» - Bruntland, 1987.

Le développement durable a été hissé au rang de mission mondiale par la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED), organisée à Rio de Janeiro en 1992. Et les gouvernements nationaux ont souscrit au programme Action 21, dans lequel est déclaré que les différents secteurs de l'activité humaine doivent être développés de manière durable.

Le **transport durable** est l'expression du développement durable dans le secteur des transports, cette notion ayant comme synonyme la **mobilité durable** dont la WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) donne la définition suivante :

«La capacité de répondre plus librement aux besoins de la société, de trouver des accès, de communiquer, d'échanger et d'établir des relations sans sacrifier d'autres valeurs essentielles sur le plan humain ou écologique, aujourd'hui ou à l'avenir.»

SOMMAIRE

GLOSSAIRE	4
1. INTRODUCTION	5
2. CONTEXTE ET ENJEUX	7
2.1 INTRODUCTION	7
2.2 LE TRANSPORT ROUTIER ET SES IMPACTS MAJEURS	7
2.3 LES IMPACTS RÉGIONAUX ET LOCAUX	11
2.4 CONCLUSION	13
3. LA GESTION DYNAMIQUE DE LA ROUTE	15
3.1 INTRODUCTION	15
3.2 LES PMV ET L'INFORMATION DES USAGERS	15
3.3 LA GESTION DES INCIDENTS ROUTIERS	19
3.4 LES VOIES REVERSIBLES	21
3.5 VOIES DÉDIÉES AU COVOITURAGE	25
3.6 SECTION A PEAGE D'ACCES OU DE REGULATION	28
3.7 LA RÉGULATION DES VITESSES VARIABLES	30
3.8 VOIES SUPPLÉMENTAIRES DE POINTE	32
3.9 UTILISATION PÉRENNE DE LA BAU	37
3.10 UTILISATION DE LA BAU PAR LES BUS	41
3.11 MARQUAGE DYNAMIQUE AU SOL	43
3.12 VOIES SUPPLÉMENTAIRES DE SURCAPACITÉ	52
3.13 LA GESTION DES ACCES SUR VRU	54
4. CONCLUSION	61
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63

GLOSSAIRE

BAU	Bande d'Arrêt d'Urgence
BI	Bretelle d'Insertion
BRA	Biseaux de Rabattement Automatiques
CEMT	Conférence Européenne des Ministres des Transports
DAI	Détection Automatique d'Incident
DEL	Diode Electro Luminescente
GES	Gaz à Effet de Serre
HOT	High Occupancy Toll
HOV	High Occupancy Vehicle
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PMV	Panneau à Message Variable
PRQA	Plan Régional pour la Qualité de l'Air
SAPN	Société des Autoroutes Paris-Normandie
SAV	Signaux d'Affectation des Voies
SDER	Schéma Directeur d'Exploitation de la Route
SISER	Service Interdépartemental de la Sécurité et de l'Exploitation de la Route
Tep	Tonne équivalent pétrole
VRU	Voie Rapide Urbaine

1. INTRODUCTION

La route favorise le développement économique, le développement des territoires et répond à une demande sociale de mobilité mais, dans le contexte actuel où le développement durable suscite un intérêt grandissant de la part des pouvoirs publics, de l'opinion publique et des acteurs économiques, les nuisances causées par le secteur des transports routiers sont légitimement montrées du doigt.

Les effets négatifs du transport routier concernent aussi bien l'environnement, l'économie que le social. Ces nuisances sont bien connues, il s'agit de la pollution atmosphérique, du réchauffement de la planète, de l'épuisement des ressources naturelles, du bruit, de la sécurité, des encombrements, de la dégradation des paysages et des écosystèmes, de la consommation d'espace...

Au niveau européen, en 1998, les travaux de la Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT) ont mis en évidence que «pour mettre au point des politiques de transport durable, [...] il faudra apporter des améliorations aux transports terrestres dans des domaines très divers.».

Des domaines très divers, en effet, car le secteur de la route est déjà à lui seul constitué de multiples filières. Celles-ci s'expriment tout au long de la durée de vie de l'ouvrage, laquelle peut être grossièrement décomposée en trois phases : construction, exploitation et recyclage.

Chaque filière et chaque phase sont responsables de nuisances et doivent faire face à des enjeux qui leur sont propres :

La décomposition de cet ensemble constituant le secteur se traduit par la définition d'un système mobile et d'un système immobile.

Le système mobile concerne le déplacement des personnes et des marchandises, alors que le système immobile concerne l'infrastructure.

Dans le système immobile, la phase de construction concerne la construction de la route avec l'utilisation de matières premières, de matériaux chimiques et de matériels roulants. Dans le système mobile, il s'agit de la production des véhicules et de celle des pneumatiques.

Ensuite vient la phase d'exploitation. Dans le système immobile, il s'agit de l'entretien de l'infrastructure routière, au moyen de matières premières et de matériels roulants. Dans le système mobile, l'objet est la circulation routière.

La circulation routière représente les déplacements des véhicules qui s'appuient sur l'infrastructure routière qui fait également partie intégrante de la composante « circulation routière » en répondant aux besoins de mobilité des biens et des personnes.

L'objectif de ce mémoire est d'explorer les réponses ou éléments de réponses qu'apportent ces infrastructures routières, dans le système mobile, aux problématiques liées au développement durable et voir dans quelles mesures elles répondent à ses exigences.

Ces réponses s'englobent dans ce que nous appellerons : la gestion dynamique de la route.

Il importe de préciser de quoi il s'agit exactement car ce terme regroupe plusieurs concepts.

La gestion dynamique des voies de circulation désigne des méthodes d'exploitation permettant d'augmenter le nombre de voies d'une infrastructure routière grâce à une redéfinition du profil en travers.

La gestion dynamique de la route est un terme qui comprend, outre, la gestion dynamique des voies de circulation, tout procédé d'exploitation permettant de gérer et d'optimiser de façon variable, dans l'espace et/ou le temps, la circulation routière.

Les mesures concernées par ces procédés d'exploitation peuvent s'exprimer à travers le dimensionnement de l'infrastructure, les limitations de vitesse des véhicules, les types d'usages favorisés etc....

Dans la première partie de ce mémoire seront présentés le contexte et les enjeux qui exprimeront les problématiques du secteur routier, et en particulier celles de la composante qui nous intéresse, à savoir la circulation routière vue sous l'angle de l'infrastructure.

La deuxième partie s'attachera à présenter les mesures comprises sous l'étiquette de la gestion dynamique de la route et voir dans quelles mesures elles répondent aux enjeux du développement durable.

2. CONTEXTE ET ENJEUX

2.1 INTRODUCTION

Des problèmes majeurs affectent les conditions de vie sur Terre et l'économie mondiale. Le premier d'entre eux concerne les réserves de pétrole qui sont limitées, ensuite vient le changement de climat résultant de l'activité humaine, avec la production de gaz à effet de serre et en particulier le gaz carbonique issu de la combustion d'énergie fossile.

Parmi les grands domaines d'activité responsables de ces problèmes, le transport routier occupe une place importante.

L'objet de ce chapitre est de présenter le poids du transport routier vis-à-vis de cette problématique mais aussi et surtout les tendances d'évolution de ce secteur, dans l'optique de bien comprendre les enjeux et leurs importances.

Mais les effets négatifs du transport routier ne s'arrêtent pas à ces deux phénomènes majeurs et mondiaux. En effet, se manifestent également des effets régionaux et locaux, tels que :

- la pollution atmosphérique et ses effets sur la santé humaine,
- les nuisances sonores,
- la congestion,
- les accidents,
- la pollution de l'eau,
- l'artificialisation des sols,
- ...

Ce chapitre s'attachera à présenter aussi ces aspects qui préoccupent fortement l'opinion publique et les représentants politiques. En outre, l'accumulation de ces problèmes locaux peut se traduire par un problème mondial.

2.2 LE TRANSPORT ROUTIER ET SES IMPACTS MAJEURS

2.2.1 LE POIDS DU TRANSPORT ROUTIER

D'après l'OCDE, en 1995, dans le monde, les transports routiers occupaient la deuxième place des émissions de CO₂ (20%) derrière la production d'électricité (44%) et à la même hauteur que l'industrie (18%) et le secteur résidentiel et tertiaire (17%).

La part des transports est plus réduite si l'on considère l'ensemble des gaz à effet de serre (méthane, protoxyde d'azote, halo carbures) car les transports, contrairement à l'agriculture, sont très peu émetteurs d'autres gaz. La contribution des transports est estimée à environ 15% de l'ensemble des émissions de GES dans le monde.

La part des transports routiers est un peu inférieure à 80% des émissions de CO₂ de l'ensemble des transports.

A l'échelle du monde, le transport routier consommait 1,55 milliard de tonnes de pétrole en 2000.

En 2002, le secteur du transport apparaît comme le secteur d'activité principal en matière d'utilisation de produits pétroliers avec une part actuelle de 50 %, c'est à dire 1,75 Gtep.

En 2002 toujours, le transport routier représentait environ 80% de la consommation d'énergie finale du secteur des transports dans les pays de l'OCDE. Et dans de nombreux pays, la part du transport routier est plus élevée que la moyenne des pays de l'OCDE (Argentine, Brésil par exemple).

En France, la part des transports dans les émissions de gaz à effet de serre était de 26% en 2004. Ce poids est plus important que dans d'autres pays européens du fait de l'utilisation de l'énergie nucléaire, non productrice de CO₂. Ce qui fait qu'en France, les transports sont les premiers émetteurs de gaz à effet de serre.

Pour ce qui est des consommations énergétiques des transports, la route (transports individuel, poids lourds, utilitaires légers, bus et cars) est de loin le premier contributeur près de 80% des consommations en 2004.

Million de tep	1973	1979	1985	1990	1995	2000	2001	2001	2003	2004
Transports routiers	22,4	27,1	29,3	35,6	38,9	41,8	42,8	43,0	42,6	42,8
Transports ferroviaires et urbains	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Transports aériens	1,9	2,6	2,7	4,0	4,8	6,3	6,2	6,2	6,1	6,4
Transports maritimes et fluviaux	5,9	5,4	2,8	2,9	2,7	3,4	3,0	2,9	3,1	3,4
Total	31,4	36,3	36,0	43,7	47,5	52,8	53,2	53,3	53,1	53,8

Tableau 1 : Consommation énergétique des transports en tonne équivalent pétrole
Source : Ministère des Transports, Observatoire de l'énergie

Le poids des déplacements de voyageurs en voitures particulières représentait 84% de l'ensemble des transports de voyageurs en 2004.

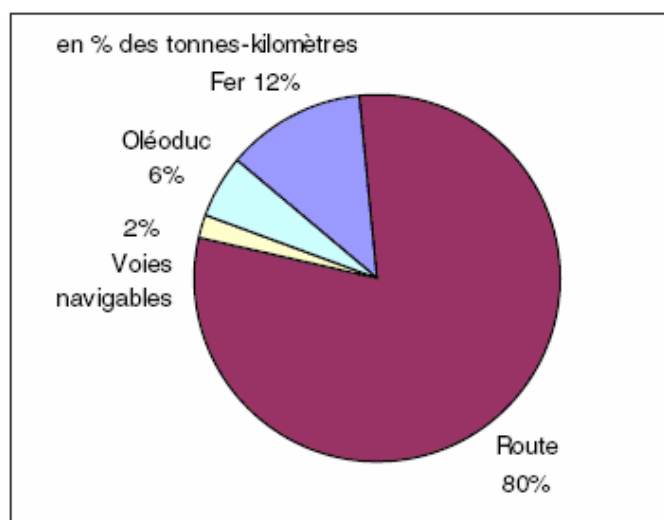


Figure 1 : Les transports intérieurs de voyageurs par mode en 2004
Source : Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer

Le transport de marchandises est effectué à 80% par la route en considérant le nombre de tonnes/kilomètres.

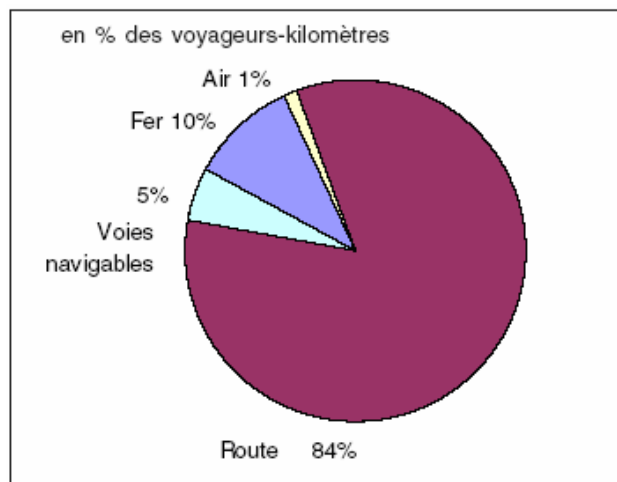


Figure 2 : Les transports intérieurs terrestres de marchandises par mode en 2004
Source : Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer

Quel que soit l'angle d'analyse, le poids de la route est toujours le plus important.

2.2.2 LES TENDANCES D'ÉVOLUTION

Entre 1950 et 1990, le nombre de véhicules routiers à moteurs a été multiplié à peu près par neuf dans le monde, passant de 75 à 675 millions environ. Les véhicules destinés principalement au transport personnel représentent près de 80% du total.

En 25 ans, le parc de véhicules a plus que doublé dans les pays de l'OCDE (80 % du parc mondial actuel).

Malgré les niveaux d'utilisation déjà élevés de véhicules automobiles dans les pays de l'OCDE, les estimations montrent que le nombre de véhicules et la quantité de déplacements sont appelés à augmenter considérablement au cours des prochaines décennies.

Selon les projections (Cf. tableau 2), le nombre de véhicules légers devrait atteindre 1,5 milliard en 2030 et 2 milliards en 2050 selon d'autres estimations et projections de l'OCDE, cette croissance touchant essentiellement les pays émergents.

Dans les pays de l'OCDE, sur la période 1990-2030, le nombre de kilomètres parcourus pour les véhicules légers augmenterait de 76%, et de 100% pour les véhicules lourds.

Pour les pays hors OCDE, le nombre de kilomètres parcourus augmenterait de 318% pour les véhicules légers et de 288% pour les véhicules lourds.

	Véhicules légers			Véhicules lourds		
	Totaux		Δ%	Totaux		Δ%
	1990	2030		1990	2030	
Pays de l'OCDE :						
Nombre de véhicules (millions)	468	811	73	16	31	94
Kilomètres parcourus (milliards)	7057	12448	76	687	1377	100
Poids du carburant consommé (mégatonnes)	563	520	-8	182	359	97
Autres pays :						
Nombre de véhicules (millions)	179	725	305	14	56	300
Kilomètres parcourus (milliards)	2380	9953	318	647	2512	288
Poids du carburant consommé (mégatonnes)	167	394	136	142	552	289
Tous pays :						
Nombre de véhicules (millions)	648	1537	137	30	87	190
Kilomètres parcourus (milliards)	9437	22400	137	1334	3889	192
Poids du carburant consommé (mégatonnes)	730	914	25	324	911	181

Tableau 2 : Estimation de l'évolution du nombre de véhicules, de km parcourus et du carburant
Source : OCDE

Les émissions dues aux transports ont été multipliées par 4 en 40 ans et le transport routier en est la principale source (à hauteur de 80%).

En France, la circulation des véhicules particuliers ne cesse de progresser, avec une hausse de 26% de 1990 à 2004, pour une augmentation de la consommation de 16%.

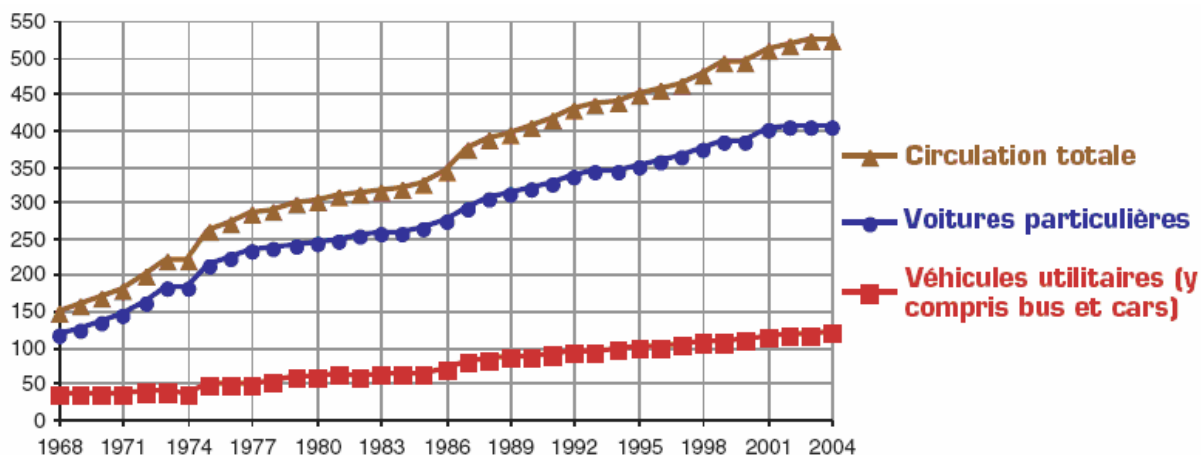


Figure 3 : Circulation des véhicules immatriculés en France (milliards de véhicules x kilomètres)
Source : Union Routière Française

Pour les poids lourds, sur la même période, la circulation totale a augmenté de 54% (de 1990 à 2004).

Il est intéressant de noter que les émissions des véhicules neufs décroissent, tout comme leurs consommations unitaires. Mais malheureusement les tendances des émissions de CO₂, elles, ne sont toujours pas favorables, et ce, pour grande partie à cause de la croissance de la circulation.

	1995	2003
Essence	177	163
Diesel	175	151
Ensemble	176	155

Tableau 3 : Emissions kilométriques des voitures particulières neuves vendues en France (en g CO₂/km)
Source : Transports, effet de serre et changement climatique : les termes des débats- JP Orfeuil 2004

L'augmentation du nombre de véhicules-kilométrages parcourus a pratiquement annulé les quelques améliorations limitées du rendement des véhicules.

2.3 LES IMPACTS RÉGIONAUX ET LOCAUX

2.3.1 LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

La pollution atmosphérique due aux transports est reconnue comme étant principalement le fait du transport routier. La pollution locale est ce qui est émis par le pot d'échappement. Les principales émissions polluantes sont : le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO, NO_x), l'ozone, les hydrocarbures, le dioxyde de soufre (SO₂), les particules de tailles diverses et le plomb.

A titre d'exemple, les travaux du PRQA (Plan Régional pour la Qualité de l'Air) ont montré la contribution du transport routier dans les émissions de la région Ile-de-France : 53% pour les NO_x, 34% pour les COVNM (Composés organiques volatils non méthanique), 43% pour le CO.

Cette pollution atmosphérique a des effets néfastes sur la santé : toux, inflammation des bronches, nausées, irritations des yeux, irritations des voies respiratoires...

Selon une étude conduite en 1999 par l'OMS sur la France 30000 décès seraient imputables à la pollution atmosphérique par les particules, dont 17000 dus au trafic routier, et ce, malgré les progrès technologiques des véhicules qui font constamment baisser les émissions de ces polluants.

A noter que les émissions de ces polluants augmentent fortement lorsque les véhicules roulent à faible vitesse et à vitesse élevée.

2.3.2 LA CONGESTION

Les encombrements routiers, tout en amplifiant les effets négatifs du transport en faisant fonctionner des véhicules à des vitesses inférieures à leur niveau optimal et donc consommer plus de carburant et polluer davantage, sont responsables d'inefficiences économiques en nuisant à la productivité humaine et en augmentant les coûts de livraison et les coûts d'entretien. Ils ont également des conséquences sociales en ce sens qu'ils sont une perte de temps pour les individus, temps non consacré à des activités sociales importantes, et en détériorant la qualité de vie.

Le potentiel d'encombrements routiers semble s'aggraver. Par exemple en Europe, les véhicules par kilomètres de route ont progressé de 85% entre 1970 et 1990.

Tout de même, en France, l'insuffisance de capacité des réseaux d'infrastructure n'est observée que sur un nombre limité d'axes, de zones et de périodes. Les problèmes importants de congestion se trouvent aux abords des grandes agglomérations. Des pays à forte densité, tels que l'Allemagne et la Grande-Bretagne pour ne citer qu'eux, connaissent des niveaux de congestion beaucoup plus élevés.

C'est pourquoi, alors qu'ils ne concernaient essentiellement que les heures de pointe du matin et du soir il y a quelques années, les phénomènes de congestion tendent dans certains secteurs ou sur certains axes à se généraliser à l'ensemble de la journée.

2.3.3 LE BRUIT

La circulation routière est une source de pollution sonore très importante. Les bruits sont dus aux moteurs des véhicules et au roulement des pneus sur la chaussée. Pour diminuer un bruit routier, il y a trois moyens :

- agir à la source,
- limiter la propagation,
- protéger à la réception.

De nombreux travaux scientifiques ont mis en évidence les effets du bruit sur l'homme :

- perturbation du sommeil,
- effet sur l'audition,
- risques de maladies cardio-vasculaires,
- etc.

A titre d'exemple, en 1988 en France, 7 millions de personnes (dont 90% résidant en milieu urbain) étaient déjà exposées à des niveaux sonores supérieurs à 65 dB(A), niveau correspondant au seuil de gêne sonore.

2.3.4 LA SÉCURITÉ

Les accidents engendrent de nombreuses conséquences négatives : pertes de capacité productive, coûts directs liés au traitement des accidents et bien entendu les souffrances physiques et morales des victimes et de leurs proches.

La lutte contre l'insécurité routière porte ses fruits puisqu'en France, entre 1975 et 2001, la baisse moyenne annuelle du nombre des tués est de 2,3 %. Depuis 2001 une accélération du processus est constatée avec des baisses successives de 6,2 % en 2002, 20,9 % en 2003, 8,7 % en 2004 et 4,9 % en 2005.

En quatre ans, entre 2001 et 2005, les gains s'élèvent à -35,6 % pour les tués et -29,6 % pour les blessés.

2.3.5 L'ARTIFICIALISATION DES SOLS

La route est une grande consommatrice de terrain. Par exemple, en 2003, les surfaces artificialisées occupent 8 % du territoire français métropolitain. Les routes et parkings en représentent 38 %. Entre 1982 et 2003, les surfaces artificialisées ont augmenté de plus de 40 %, principalement au détriment des zones agricoles et naturelles. Sur la même période, la population n'a augmenté que de 10 %.

La préservation et la valorisation des espaces naturels et des espaces agricoles sont vitales et il est impératif d'économiser l'espace.

De plus, à l'extérieur des zones urbaines, les infrastructures routières perturbent et nuisent à l'équilibre écologique, consomment des terres agricoles fertiles, causent le ruissellement de matières dangereuses et peuvent modifier des microclimats (en absorbant ou reflétant le rayonnement solaire).

2.3.6 LA POLLUTION DE L'EAU

Cette ressource peut être affectée de différentes façons par le transport routier et sur différents aspects, celui de sa qualité et celui de sa gestion, par exemple :

- par le rejet des véhicules de l'huile de moteur et des produits chimiques,
- par la dispersion du sel utilisé pour le déneigement,
- par l'imperméabilisation de vastes surfaces interrompant l'absorption et l'infiltration et augmentant le risque d'inondation et de déversement de matières polluantes,
- etc.

2.4 CONCLUSION

Tous ces effets néfastes sur l'homme et son environnement peuvent se traduire par les coûts qu'ils représentent pour la collectivité.

A titre d'exemple, sur l'ensemble de la région Ile-de-France en 2001 :

- le coût du bruit imputable aux voitures particulières a été estimé à 399 M€,
- le coût de la pollution atmosphérique des voitures particulières a été estimé à 897 M€,
- le temps perdu par les usagers de la voiture particulière a été estimé à 1,1 milliard d'heures,
- le coût des émissions de CO₂ des voitures particulières a été estimé à 267 M€,
- le coût des accidents dus à la voiture particulière a été évalué à 1,8 milliard d'euros.

Ce rapide tour d'horizon permet de se faire une idée quant aux enjeux considérables auxquels doit répondre le secteur de la route.

De plus, si l'on considère que :

- dans les pays développés, la route constitue majoritairement la source de mobilité des biens et des personnes et que dans les pays en voie de développement le transport routier se développe rapidement,
- le bilan total du gaz carbonique émis pendant tout le cycle de vie d'une route et de son utilisation attribue 98% des émissions à la partie mobile du système (la circulation routière) et seulement 2 % à la partie immobile (construction, exploitation, recyclage),
- la part du mode routier dans le transport ne cesse d'augmenter,
- la congestion, qui est le fruit d'une inadéquation entre la capacité routière disponible et le trafic qui tente de l'utiliser à un moment donné, est l'un des problèmes majeurs qui aggravent les bilans environnementaux notamment,
- les périodes de congestion, avec la croissance attendue des trafics, ne se limiteront plus à des encombrements ponctuels,
- l'espace public est une ressource limitée et souvent rare, notamment dans les zones urbaines,

- les deux hypothèses qui s'offrent aux pouvoirs publics pour lutter contre la congestion sont la construction d'infrastructures nouvelles ou le recours à une meilleure exploitation du trafic,
- les coûts, pour l'économie et pour l'environnement, de la construction d'une infrastructure nouvelle, sont très importants,

alors l'optimisation de la circulation routière est une clé d'entrée pouvant faire face aux problématiques évoquées ci-dessus et tenter de satisfaire aux exigences de la mobilité durable.

3. LA GESTION DYNAMIQUE DE LA ROUTE

3.1 INTRODUCTION

La considération des enjeux présentés précédemment pour les infrastructures routières, s'exprime au travers du développement de procédés d'exploitation consistant à optimiser leur utilisation.

Ces procédés d'exploitation sont les suivants :

- les panneaux à messages variables et l'information aux usagers,
- la gestion des incidents,
- les voies réversibles,
- les voies dédiées à un type d'utilisateur : voies pour véhicules à fort taux d'occupation (covoiturage),
- les sections à péage d'accès ou de régulation,
- la régulation des vitesses variables,
- les voies supplémentaires de pointe,
- l'utilisation pérenne de la bande d'arrêt d'urgence (BAU),
- l'utilisation de la BAU par les bus,
- le marquage dynamique au sol,
- les voies supplémentaires de surcapacité,
- la gestion des accès sur voie rapide urbaine (VRU).

Ces techniques d'exploitation se développent de par le monde. Certaines sont déjà bien rodées, d'autres à peine émergentes, d'autres encore au stade des expérimentations sans parler de celles qui ne sont encore que des concepts.

L'exploration de ces techniques s'attachera à les présenter quel que soit leur stade d'avancement. Et, pour celles qui sont plus que des concepts, il s'agira d'estimer leur compatibilité avec les enjeux de la mobilité durable.

3.2 LES PMV ET L'INFORMATION DES USAGERS

3.2.1 LE PRINCIPE

Les PMV sont des équipements de gestion du trafic utilisés pour fournir une information en temps réel aux automobilistes.

La gamme des PMV peut aller du panneau à une ou deux lignes d'affichage dont le contrôle est manuel, jusqu'à des modèles sophistiqués, de 3 ou 4 lignes d'affichage, complètement électroniques.

Les possibilités technologiques des PMV permettent parfois l'affichage d'informations de natures différentes présentant un certain intérêt par la complémentarité qu'elles apportent, telles que :

- des messages textuels,
- des pictogrammes.

Le rôle du pictogramme étant de donner l'information principale, alors que celui du texte est de fournir un complément d'information.

3.2.2 LES EXEMPLES

Ci-dessous quelques exemples de panneaux à messages variables :

Indication du temps de parcours



Figure 4 : PMV indication du temps de parcours
Source : http://www.sytadin.equipement.gouv.fr/PMV_sytadin

Des enquêtes sur le Boulevard Périphérique de Paris et les VRU d'Ile-de-France montrent que 80% des usagers font confiance au temps de parcours affiché et n'envisagent de sortir de leur trajet habituel que dans les cas de perturbations exceptionnelles.



Figure 5 : PMV indication du temps de parcours
Source : Centrico Briefing Note

La société SAPN, qui gère 380 km d'autoroutes reliant Paris, Rouen, Le Havre et la côte normande, a mis en place un système fournissant les temps de parcours aux usagers. Une enquête a mis en évidence que la satisfaction des usagers dépasse les 80% et que la fiabilité des informations fournies atteint 93%.

Recommandation de prudence en raison des conditions climatiques



Figure 6 : PMV recommandation
Source : http://www.sytadin.equipement.gouv.fr/PMV_sytadin/

Association d'un message textuel et d'un pictogramme



Figure 7 : PMV message textuel et pictogramme
Source : <http://www.ses-signalisation.com>

Harmonisation de la vitesse et prescription

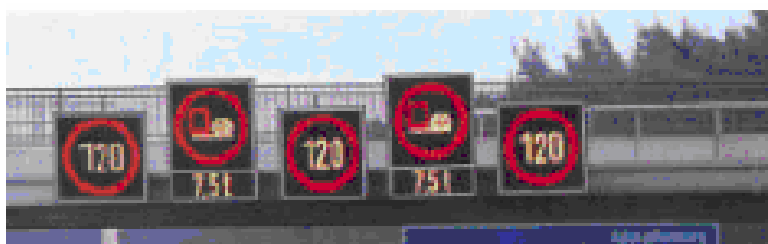


Figure 8 : PMV harmonisation de la vitesse et prescription
Source : Definition of Variable Message Sign

Information concernant le réseau routier

C'est un concept qui vient du Japon et qui intéresse depuis peu les pays européens. Les informations concernant les conditions de circulation sur un réseau routier sont fournies via des PMV diagrammétriques, comme illustré ci-dessous :

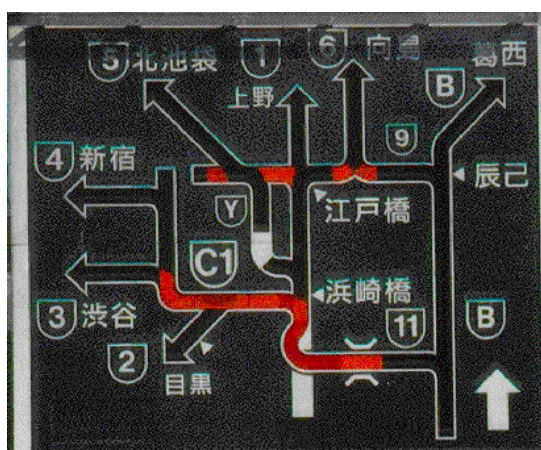


Figure 9 : PMV diagrammétrique
Source : Conseil Général des Ponts et Chaussées – Présentation Certutour

Indication d'itinéraire alternatif (re-routing)

La fourniture d'indications sur les itinéraires alternatifs empruntables par les usagers peut être utile pour délester une voie ou des voies congestionnées ou en passe de l'être suite à un accident par exemple.

Deux principes de PMV de re-routing coexistent:

- ceux qui se substituent aux indications qui ont cours en temps normal. L'illustration de la figure 10 en est un exemple dans lequel la destination «variable» s'affiche sur des lames rotatives, et où la signalisation habituelle n'est plus apparente,
- ceux qui complètent les indications qui ont cours en temps normal. Ce sont donc des panneaux qui offrent une information complémentaire en laissant apparente la signalisation habituelle.



Figure 10 : PMV de re-routing

Source : Collective speed control on German motorways

Aux Etats-Unis, une simulation informatique sur la ville de Fargo, Dakota du Nord, concernant les impacts d'une installation de PMV affichant des messages indiquant des itinéraires alternatifs à emprunter suite à un incident survenu sur la voie, a montré une diminution de 8% du temps de parcours et une augmentation de 8% de la vitesse moyenne des usagers. Cette étude a poussé l'évaluation à l'estimation de l'impact de l'installation de ce procédé sur le réseau adjacent et les résultats montrent une réduction de 18% pour les temps de parcours et une augmentation de 21% de la vitesse moyenne des usagers.

A Toronto (Canada), un système de management de trafic sur autoroute est déployé sur 42 km. Ce système est composé de boucles de détection et de caméras vidéo qui déterminent la vitesse des usagers, le volume du trafic et la densité. Les informations concernant les incidents et les retards sont diffusées aux usagers via des PMV et autres médias tels que la radio. Il ressort de cette installation que l'affichage de ces informations sur les PMV, ce qui nous intéresse ici, a évité 200 accidents par an et que la vitesse moyenne augmente de 7 à 19% selon les conditions de circulation.

A Lyon, deux itinéraires possibles pour traverser la ville du Nord au Sud (l'A6 et l'A46) s'accompagnent d'encombres inégaux. Une évaluation sur la répartition des conducteurs entre ces deux itinéraires selon les messages variables affichés sur l'A6 au nord du divergent autoroutier a mis en évidence un impact sur la répartition des flux pouvant aller jusqu'à 20% des usagers en moyenne selon le type de message utilisé.

3.2.3 INTÉRÊT ET LIMITE

Les types d'information fournis par les PMV peuvent être multiples. Il peut s'agir :

- d'une information sur la gestion d'un évènement (détection d'un accident, déviations, détection de congestion, fermeture de voies, travaux),
- d'une indication directionnelle complémentaire, c'est-à-dire une information autre que celle fournie par les panneaux permanents,
- d'une information événementielle (événements sportifs, foire, festival),
- des services disponibles (localisation de services tels que les stations-service et les restaurants),
- de l'estimation du temps de parcours pour atteindre une destination,
- de services à valeur ajoutée (services de navigation embarqués interfacés avec les PMV),
- de messages rappelant les règles élémentaires du code de la route (vitesse réglementaire, port de la ceinture, distance de sécurité etc.) et de messages incitant à une conduite apaisée.

La richesse de l'information diffusable via les PMV apporte à l'utilisateur une qualité de service, un plus grand confort, une optimisation de la sécurité et une optimisation du trajet que les seuls panneaux fixes ne peuvent amener.

L'objectif des PMV est de fournir une information rapide, attractive, claire et compréhensible au conducteur se trouvant sur la route. L'atteinte de cet objectif passe généralement par l'utilisation de messages textuels. L'inconvénient est que l'information fournie est nécessairement limitée et souvent en une seule langue. La solution peut-être alors le recours aux pictogrammes, suffisamment explicite et compréhensible pour le plus grand nombre, notamment les conducteurs étrangers.

Le succès des PMV passe par la crédibilité qu'ils ont aux yeux des usagers. Cette crédibilité se gagne par la fiabilité des informations diffusées. Les différentes enquêtes indiquent que cet objectif est généralement atteint, notamment au travers de la satisfaction des usagers.

Les PMV, par définition, s'adaptent aux conditions de circulation, ils sont donc un outil indispensable à la gestion dynamique de la route et complètent généralement toutes les techniques s'y référant. C'est la raison pour laquelle ils ont été traités en premier, c'est-à-dire en tant que procédé d'exploitation dynamique de la route mais également en tant qu'outil support aux autres procédés qui vont être traités au cours des pages suivantes.

3.3 LA GESTION DES INCIDENTS ROUTIERS

3.3.1 LE PRINCIPE

Un incident routier est un évènement aléatoire qui entraîne une réduction de la capacité de l'infrastructure et/ou une dégradation de son niveau de sécurité.

Il existe deux types de détection d'un incident. La détection directe : l'incident lui-même est détecté, et la détection indirecte : les conséquences de l'incident sur la circulation sont détectées (ralentissement, bouchon).

Les systèmes de gestion des incidents, qui s'appuient sur la Détection Automatique des Incidents (DAI), peuvent avoir différents niveaux de sophistication.

Plusieurs technologies permettent la détection automatique des incidents :

- la vidéo et le traitement d'images,
- les capteurs (boucles électromagnétiques),
- les radars de surveillance,
- les systèmes basés sur la communication entre la route et le véhicule.

Après la détection de l'incident, l'information doit être rapide afin de prévenir au plus tôt les usagers qui se dirigent vers l'incident. La diffusion de l'information peut être réalisée via le recours aux panneaux à messages variables.

3.3.2 LES EXEMPLES

Aux Etats-Unis, la gestion des incidents routiers a montré les bénéfices suivants :

- une réduction du temps d'intervention sur accidents de 66% (Brooklyn),
- une réduction des temps de fermeture des voies de 55% (Philadelphie),
- une réduction du temps d'intervention de 20%, et 30% de réduction des accidents secondaires (San Antonio),
- la réalisation de 1,4 million de dollars de bénéfice du à la réduction du temps d'intervention, quand les coûts d'exploitation du système de gestion des incidents sont de 600000 \$ par an (Minneapolis).

En France, sur le tronçon commun A3-A86, en Région Parisienne :

- le taux de détection du système est de 86%,
- il y a en moyenne 0,66 fausse alarme/caméra/semaine.

Toujours en France, la SAPN a testé, sur l'A13, un système innovant qui fait appel à la Détection Automatique des Incidents (via des caméras) et à des techniques de dissémination d'information telles que les PMV, la radio ou les SMS à bord du véhicule. La détection des incidents est basée sur les scénarios suivants : les décélérations, les débris, les véhicules lents, les arrêts pendant les encombrements, les arrêts lors des trafics fluides, les piétons et les usagers circulant en sens inverse. Les résultats sont les suivants :

- le temps moyen entre la détection de l'incident et l'affichage de l'information sur les PMV est de moins de 5 secondes,
- le taux de fausse alarme est inférieur à 10%,
- depuis la mise en place du système, les messages d'alerte sur les PMV se sont activés plus d'une fois par jour.

3.3.3 INTÉRÊT ET LIMITE

Les systèmes de détection et d'intervention sont multiples et plus ou moins sophistiqués. Les combinaisons des techniques sont variées. Il est, par exemple, possible de modifier les messages sur les PMV, d'adapter les cycles des feux, de diffuser des informations sur les itinéraires de déviation ou de délestage, de modifier l'affectation des voies par des panneaux électroniques placés au-dessus des voies autoroutières (une croix rouge indiquant que la voie est fermée, une flèche verte signifiant que la voie est ouverte).

Le taux de fausse alarme, relativement faible, est dû à la précision des systèmes de détection des accidents. Une fausse alarme pouvant être générée par des ombres, par la pluie ou encore des reflets quand les systèmes de détection s'appuient sur des caméras vidéo.

Ces actions servent prioritairement la sécurité mais pas seulement, en effet, la réduction des délais d'intervention a comme bénéfice une meilleure efficacité de l'infrastructure avec notamment la réduction des phénomènes de congestion, car le retard généré par un incident est proportionnel au carré de sa durée.

Pour ce qui est des impacts sur la sécurité, des recherches montrent que la variation du nombre de tués et de blessés graves est proportionnelle à celle du délai d'intervention sur accidents. Une réduction de 25% du délai d'intervention réduit le nombre de tués sur autoroute de 8% environ. Selon le SAMU, chaque minute gagnée peut épargner jusqu'à 1% des coûts corporels des accidents.

Des délais d'intervention réduits peuvent aussi permettre de réduire le nombre d'accidents dits secondaires ou sur-accidents, c'est à dire les accidents qui se produisent à la suite du premier accident.

Ces techniques sont des procédés de gestion dynamique de la route à part entière mais peuvent être également considérées comme un outil support indispensable à l'optimisation du fonctionnement d'autres techniques de gestion dynamique de la route, similairement aux PMV vus au chapitre précédent.

3.4 LES VOIES REVERSIBLES

3.4.1 LE PRINCIPE

Cette méthode se base sur une logique fonctionnelle en modifiant les équilibres de l'offre pour coller au plus près des déséquilibres de la demande. En d'autres termes, cette méthode donne raison aux flux dominants que ce soit en milieu urbain ou sur voies rapides.

Concrètement, il s'agit d'utiliser une voie de circulation alternativement dans un sens ou dans l'autre pour coller au plus près du trafic qui est, dans ce cas, asymétrique. Par exemple, le flux dominant du matin en entrée de ville, se retrouve le soir en sortie de ville.

Cette méthode permet donc d'optimiser le dimensionnement de l'infrastructure en affectant une partie des voies sous-utilisées au sens de circulation dominant en heure de pointe.

De plus, cette affectation peut être attribuée en fonction de l'usage. En effet, l'affectation de ces voies réversibles peut se focaliser sur un type d'usage particulier. Par exemple, en France, à Lyon, la voie réversible n'est utilisable que par les bus, ce cas est développé dans le point 3.4.2 qui suit.

Aux Etats-Unis, ces voies peuvent être affectées aux voitures à fort taux d'occupation, en d'autres termes, le covoiturage (cf. chapitre 3.5).

Techniquement, deux grands principes permettent cette utilisation alternée des voies de circulation :

- les voies sont matérialisées grâce à un système de glissière mobile,
- les voies sont physiquement séparées et l'accès est géré alternativement dans un sens ou dans l'autre.

Utilisation d'une glissière mobile

Ici, le déplacement de la glissière permet de faire varier le nombre de voies disponibles par sens de circulation.

Par exemple, une 2 x 2 voies peut-être utilisée en 2 + 2 voies, en 1 + 3 voies ou en 3 + 1 voies. L'infrastructure doit être constituée d'une chaussée unique sans terre-plein central qui constituerait un obstacle.

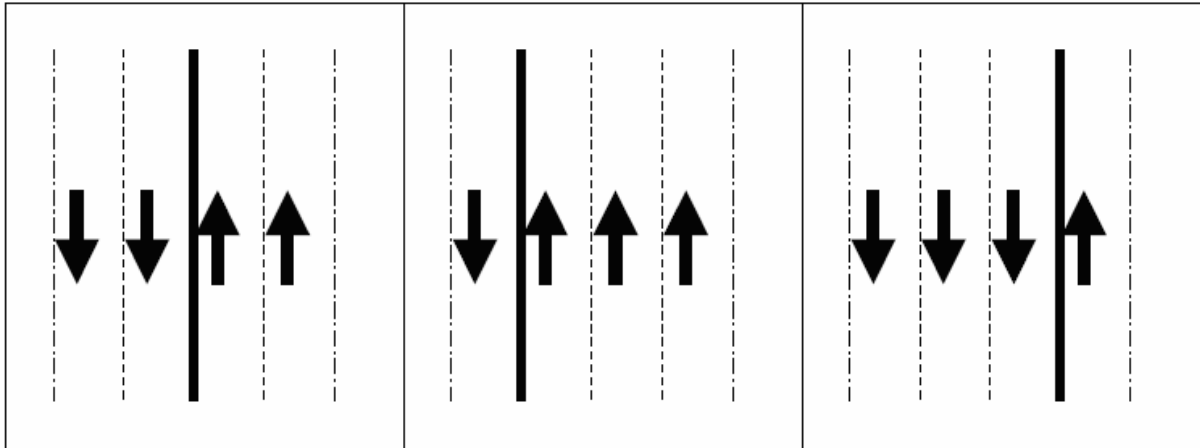


Figure 11 : Principe de l'affectation des voies avec glissière mobile

Le système des barrières amovibles peut être constitué de pièces de béton qui sont alors assemblées pour obtenir une chaîne. Le déplacement de la barrière est réalisé grâce à un engin spécialisé (Cf. figure 12).



Figure 12 : Barrières amovibles et engin spécialisé
Source : <http://ops.fhwa.dot.gov>

Voies physiquement séparées

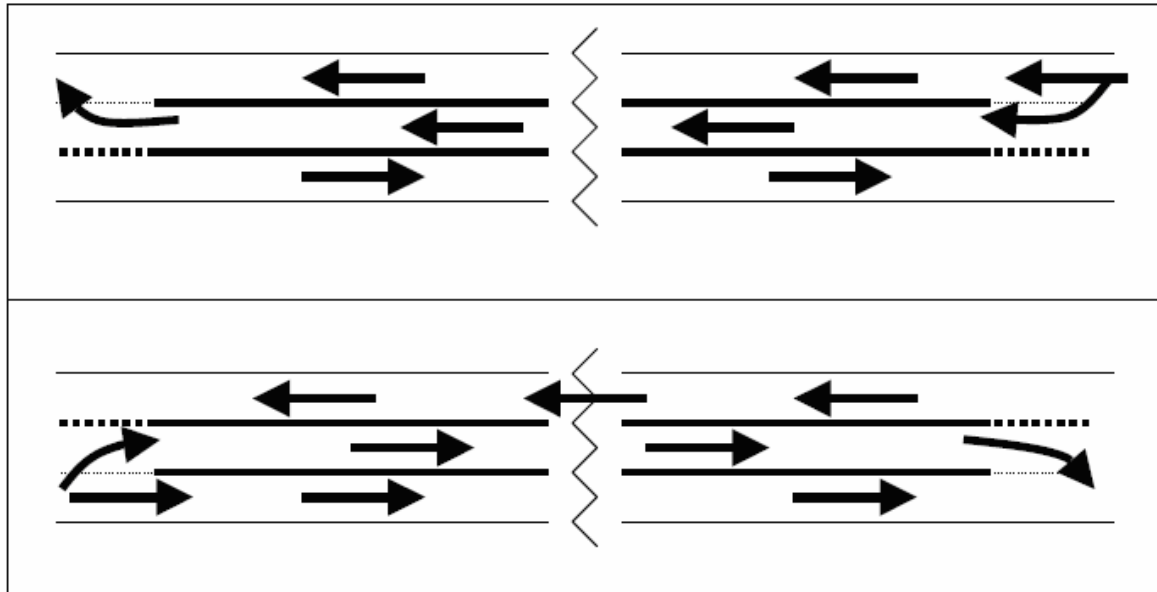


Figure 13 : Principe des voies réversibles physiquement séparées

Ce procédé doit s'appuyer sur une infrastructure spécialement prévue à cet effet, car l'utilisation dans un sens ou dans l'autre s'effectue grâce à un contrôle d'accès depuis un poste de contrôle ou bien grâce à des barrières (Cf. chapitre 3.4.2).

3.4.2 LES EXEMPLES

A Lyon, un couloir de bus réversible en site propre a été réalisé en 2003. La réhabilitation s'est traduite par la transformation d'une 2 × 2 voies très accidentogène en une 2×1 voies avec la réalisation d'un couloir-bus réversible en position centrale. Le couloir est ouvert aux bus venant de la périphérie en heure de pointe du matin et en dehors des heures de pointe. En heures de pointe du soir il est ouvert aux bus sortant de Lyon. L'accès à la voie réservée est protégé par des barrières automatiques pour éviter tout accident. Les automobilistes circulent de part et d'autre du couloir central. Les bus, circulant dans le sens n'ayant pas accès au couloir central circulent sur les voies adjacentes, comme illustré sur la figure ci-dessous :

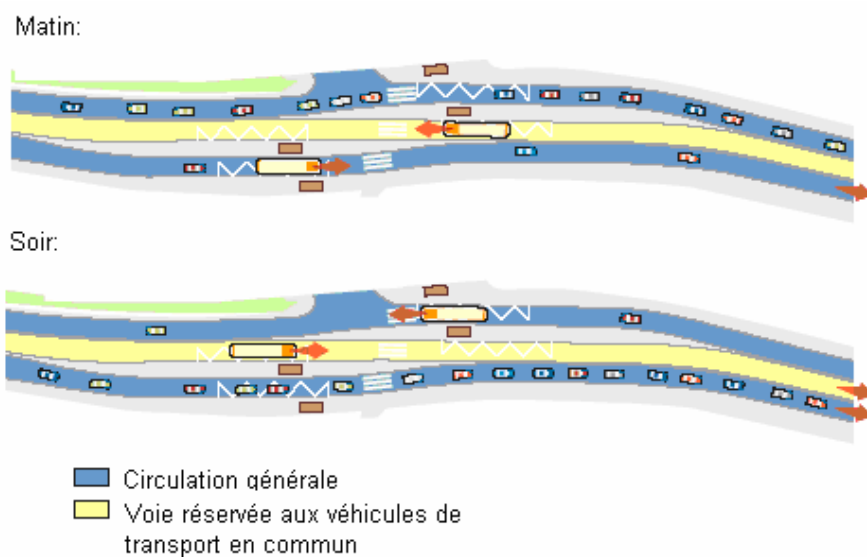


Figure 14 : Couloir de bus réversible
Source : SYTRAL

En définitive l'on peut considérer ce réaménagement comme double : redéfinition du profil en travers (la voie passant de 2x2 voies à 2x1 voie) et création d'un couloir central réservé au bus. Les impacts eux aussi sont doubles en concernant aussi bien les automobilistes que les transports en commun.

En effet, a été constaté pour les automobilistes :

- une diminution des vitesses sur les voies de circulation,
- une diminution des accidents de circulation,
- un temps de parcours stable et pas d'encombres aux heures de pointe.

Quant aux transports en commun, a été constaté :

- une amélioration de la vitesse commerciale des bus en heure de pointe,
- une fiabilité des horaires augmentée.

Les voies réversibles doivent s'accompagner de mesures de sécurité qui vont permettre d'éviter que les véhicules n'empruntent la voie dans un sens lorsque celle-ci est dans la configuration opposée. A Chicago, sur la Kennedy Expressway, ce sont des panneaux placés au-dessus de la voie associés à des bras articulés qui informent et interdisent l'accès à la voie réversible quand celle-ci est fermée, comme illustré ci-dessous :



Figure 15 : Panneaux et barrières indiquant que la voie est fermée

Source : Managed lane ramp and roadway design issues (Texas Transportation Institute)

***Remarque** : En France, les premiers recours aux voies réversibles datent de la fin des années 60 (Grenoble, tunnel de Saint Cloud à Paris). D'autres, depuis, sont apparus, avec par exemple le Pont d'Aquitaine à Bordeaux, qui n'utilise d'ailleurs plus ce principe aujourd'hui, suite à un réaménagement augmentant le nombre de voies grâce à la suppression de la bande d'arrêt d'urgence, ou l'expérimentation sur le viaduc de Gennevilliers (A15) sur lequel le système des barrières amovibles était appliqué avant son abandon suite là aussi à un réaménagement.*

3.4.3 INTÉRÊT ET LIMITE

L'intérêt de l'utilisation des voies réversibles est d'améliorer la fluidité du trafic en augmentant la capacité des voies supportant le flux d'automobiles le plus important ou en permettant aux bus par exemple d'avoir une voie qui leur est dédiée et qui s'adapte aux conditions de circulation pour améliorer, entre autres, leurs vitesses commerciales.

Mais il y a également les avantages suivants :

Premièrement cette solution peut être particulièrement intéressante lors d'événements rassemblant énormément de monde tels que les concerts, les manifestations sportives dans les stades...Mais elle peut également être utile dans des circonstances toutes autres telles qu'en cas d'alertes climatiques (tornades par exemple) ou de menaces terroristes, ce type d'utilisation est d'ailleurs recommandé aux Etats-Unis par la DOT (Department Of Transportation).

Pour ce qui est de la solution avec glissière mobile, si tant est que l'infrastructure est à chaussée unique, elle peut s'avérer être une solution alternative intéressante à l'élargissement de la chaussée.

Mais, la mise en place de ce procédé est tout de même soumise à plusieurs contraintes :

Premièrement, cette solution n'est véritablement intéressante que dans les cas où les trafics sont asymétriques et deuxièmement, si l'on ne considère pas les projets neufs, l'infrastructure doit offrir des conditions géométriques minimales. En effet, l'utilisation de voies physiquement séparées n'est réalisable que si la largeur des terre-pleins centraux est suffisamment importante. En France, par exemple, la largeur des terre-pleins centraux ne permet généralement pas de rajouter une voie en axe central.

Quant à la signalisation, celle-ci doit être suffisamment explicite pour éviter toutes hésitations et utilisations à mauvais escient de la voie réversible et garantir la sécurité des usagers. L'affectation peut être signalée via des signaux d'affectation des voies, avec notamment les pictogrammes « croix rouge/flèche verte » ou des barrières peuvent être déployées pour interdire les accès non autorisés, comme illustré dans l'exemple de Chicago.

3.5 VOIES DÉDIÉES AU COVOITURAGE

3.5.1 LE PRINCIPE

Ce procédé n'autorise l'utilisation de la voie que pour des usagers faisant du covoiturage.

Cette restriction peut s'appliquer ou non selon les heures de la journée et le nombre de passager minimum requis peut également varier de 2 à 3 voire plus.

Techniquement, deux solutions existent, soit les voies sont physiquement séparées, soit elles sont accolées.

Les voies physiquement séparées

Ce type de voies facilite le contrôle, permet de lutter contre des fraudes et améliore les conditions de sécurité en évitant les collisions frontales et les changements de files dangereux.



Figure 16 : voies physiquement séparées dédiées au covoiturage
Source : Certutour (décembre 2002)

Les voies accolées

Ce type de voies présente l'inconvénient de faciliter la fraude et peut générer des problèmes de sécurité, en permettant aux fraudeurs d'emprunter la voie via le recours à des manœuvres qui peuvent s'avérer dangereuses, telles que des changements de files.

3.5.2 LES EXEMPLES

Aux Etats-Unis, les voies dédiées au covoiturage sont très développées et se rencontrent sous le nom de HOV lanes (High Occupancy Vehicle). Il y a actuellement une centaine de voies HOV, ce qui représente environ 1000 miles (quelque 1600 kilomètres).

En Virginie existe une expérience intéressante de HOV. L'autoroute I-395 comporte 2 voies centrales sur une portion de 40 km, ces voies étant physiquement séparées de chacun des 2 sens de circulation. Ces voies sont HOV-3 (c'est-à-dire que le conducteur doit être accompagné d'au moins deux passagers) et réversibles (ouvertes dans un sens le matin et dans l'autre le soir). Aux Etats-Unis, énormément de voies HOV sont réversibles.

Les voies sont HOV-3 pendant les périodes de pointe du matin et du soir et sont ouvertes à tous quelques heures avant et après ces périodes de pointe. Cette section est fermée quelques heures la journée et la nuit pour la maintenance et le basculement.

L'évaluation montre qu'à l'heure de pointe, les deux voies HOV-3 transportent 3900 véhicules/heure, c'est-à-dire moitié moins de véhicules que les 4 voies parallèles conventionnelles qui transportent 6200 véhicules/heure : cela est somme toute un résultat logique. Ce qui est intéressant, c'est que le nombre de personnes supporté par les voies HOV correspond à 1,5 fois le nombre de personnes transportées sur les voies conventionnelles : 13700 personnes/heure sur les voies HOV contre 9400 sur les voies conventionnelles.

Le gain de temps pour les utilisateurs de ces voies HOV serait de 30 minutes, ce chiffre n'étant apparemment qu'indicatif.

Fort de ce succès, les voies HOV de l'I-395 sont en limite de capacité et donc en permanence entre fluidité et saturation. Ce qui peut s'avérer dangereux pour la pérennité de l'intérêt du procédé.

Toujours aux Etats-Unis, un deuxième cas réussi se trouve dans l'Utah sur l'autoroute I-15, où s'alternent et se suivent quatre portions de voies HOV. Les chiffres ci-dessous datent de 2000-2001 :

- les temps de parcours des véhicules circulant sur la voie HOV ont baissé de 30% pendant les heures de pointe du matin par rapport à leur trajet sur les voies conventionnelles,
- le taux d'occupation des véhicules pendant les périodes de pointe est de 1,1 sur les voies classiques et de 2,4 sur la voie HOV,
- la vitesse moyenne, pendant les heures de pointe, est de 63,6 miles par heure sur la voie HOV et de 51,5 sur les voies classiques,
- la vitesse moyenne, quelle que soit l'heure de la journée, est toujours supérieure sur la voie HOV,
- sur certaines portions de voie HOV, le nombre de personnes transportées est supérieur à celui concernant les voies classiques avec un nombre de véhicules inférieur.

A Honolulu (Hawaii), une voie réversible HOV, gérée en fonction des heures d'affluence, a permis un gain de 14 minutes sur le trajet et entraîné une augmentation du taux d'occupation des véhicules ainsi que l'utilisation du transport en commun traduite par une augmentation de 89%.

3.5.3 INTÉRÊT ET LIMITE

L'intérêt de cette solution est bien entendu d'inciter les usagers à faire du covoiturage en leur offrant la possibilité de circuler sur une voie où la fluidité du trafic est à priori garantie. Ce qui doit leur permettre d'améliorer la durée de leur trajet et de la fiabiliser. De plus, cette solution permet à ces usagers de réduire leur consommation d'énergie en évitant les bouchons.

Ces voies ont également des impacts positifs pour la collectivité tels que l'amélioration de la qualité de l'air et le soulagement des voies classiques en diminuant le volume du trafic à nombre de voyageurs transportés égal.

Les exemples de voies HOV présentés ici sont des succès mais cela ne semble pas être une règle générale car, aux Etats-Unis, le taux d'occupation de ces voies ne semble pas très bon d'après les observations réalisées lors d'une mission exploratoire pour la Direction Générale des Routes. Par définition moins il y a de véhicules sur la voie, meilleures sont les conditions de circulation pour ceux qui l'empruntent, avec des vitesses moyennes élevées et des temps de parcours raccourcis, mais l'intérêt de ces voies est bien de favoriser le covoiturage pour, entre autres, soulager les voies classiques. Le taux d'occupation de ces voies est donc un facteur primordial quant à l'efficacité de cette solution et doit atteindre l'équilibre entre une voie sous-occupée et une voie saturée pour être pertinent.

La mise en place de voie HOV ou de covoiturage se heurte néanmoins à plusieurs problématiques :

- le contrôle automatique est difficile à mettre en œuvre complètement et, par conséquent, le contrôle est effectué manuellement, selon le retour d'expérience américain,
- l'acceptabilité sociale du public. ce point est crucial et répond à une vaste et complexe problématique dont il est difficile de fournir des réponses à priori car l'acceptabilité sociale dépend fortement du pays concerné, du type d'utilisateur, du milieu (urbain ou pas), de la culture locale, etc.

- la pertinence de dédier une voie à un type d'usager particulier, car, en d'autres termes cela revient à soustraire une voie à un réseau victime à priori de phénomènes de saturation récurrents, l'effet obtenu pouvant s'avérer désastreux en étant opposé à l'effet attendu,
- la réintégration des véhicules circulant sur ces voies dans un trafic général qui n'est pas forcément fluide. gagner quelques minutes sur une section et se retrouver bloqué dans les bouchons à l'extrémité de la voie, dédiée au covoiturage, est d'un intérêt très limité.

De ces problématiques ressort toute la complexité de la mise en œuvre d'une telle solution. De plus, on imagine aisément que la mise en place de telles voies est difficilement envisageable sans un soutien politique fort et une campagne de communication importante.

Malgré tout, sur certains réseaux, la solution du covoiturage pourrait être envisageable et mis en pratique assez «facilement». Par exemple les pôles d'emploi importants pourraient être propices à de telles mesures, ou bien lors de manifestations (concert, sport) où le covoiturage est déjà bien présent naturellement.

La mise en place de ce type de voie pourrait passer par une première phase, en guise de test, où les voies de bus pourraient être ouvertes au covoiturage afin de mesurer l'acceptabilité du procédé et en offrant une alternative pour le public réticent aux transports en commun.

3.6 SECTION A PEAGE D'ACCES OU DE REGULATION

3.6.1 LE PRINCIPE

Comme décrit dans le chapitre 3.5, certaines voies sont dédiées au covoiturage mais la possibilité d'autoriser leur accès à des véhicules ne répondant pas à leur critère (c'est-à-dire n'ayant qu'un seul occupant) est envisagée moyennant l'acquittement d'un péage. Ces sections sont des sections à péage d'accès (en anglais HOT : High Occupancy Toll).

Comme pour les voies HOV, c'est aux Etats-Unis que ces cas sont très développés. La pratique veut que les voies HOV peu efficaces se transforment en voies HOT (techniques mises en œuvre aux Etats-Unis depuis les années 90). Cette mesure permettant d'augmenter le trafic. Il est intéressant de noter que des «passe-droits» (c'est-à-dire sans acquittement) peuvent exister, par exemple l'autorisation d'emprunter la voie pour les véhicules propres, les bus, les motos, etc.

Des sections à péage au principe différent existent également. Ce sont des sections à péage de régulation qui constituent une forme plus avancée du péage, car l'acquittement à verser dépend des conditions de circulation. Le tarif n'est pas figé, il est plus important pendant les périodes de pointe. Il existe deux options pour la définition du tarif :

- le tarif prédéterminé : option dans laquelle le niveau de tarification dépend de l'heure de la journée (ou de la direction dans le cas de voie réversible) mais s'appuie sur une échelle de tarification fixe,
- le tarif dynamique : option dans laquelle des capteurs mesurent les conditions de trafic (volume, vitesse, temps de parcours) dans la voie à péage ce qui détermine le niveau de tarification. Si le temps de parcours des usagers empruntant la voie baisse alors le tarif du péage augmente pour dissuader les nouveaux usagers d'emprunter cette voie et rendre les conditions de circulation plus difficiles. A l'opposé si les conditions de circulation s'améliorent, alors le tarif baisse.

De même que les voies dédiées au covoiturage, ces voies peuvent être accolées ou séparées physiquement des autres voies.

3.6.2 LES EXEMPLES

Un exemple intéressant provient justement de la transformation d'une voie HOV en voie HOT et associant simultanément les principes de péage d'accès et de péage de régulation. En 1988, une voie HOV a été mise en place sur une portion de 8 miles sur l'autoroute I-15 à San Diego. Il s'agit de deux voies séparées des autres par des barrières et réservées au covoiturage. Ces voies sont également réversibles et sont affectées au trafic entrant dans San Diego le matin puis au trafic sortant l'après midi. A partir de 1998, ces mêmes voies ont été transformées en HOT et ont été ouvertes aux véhicules ayant un seul passager moyennant l'acquittement d'un péage dynamique électronique. Le montant du péage fluctue entre 0,5 et 4 \$ selon le niveau de congestion que la voie HOT permet d'éviter. Le montant peut même parfois monter jusqu'à 8 \$ quand les niveaux de congestion sont très élevés.

Le calcul du montant du paiement s'appuie sur des boucles électromagnétiques qui comptent les véhicules sur les voies libres et déterminent ainsi le montant du péage. Celui-ci est affiché sur des PMV en amont des voies HOT. Les usagers souhaitant emprunter les voies HOT doivent être munis d'un transpondeur. Si le conducteur est seul, il active le transpondeur et le montant du péage est automatiquement prélevé lorsqu'il passe sous le portique d'entrée des voies HOT. Si le conducteur n'est pas seul, il désactive son transpondeur et le montant du péage n'est pas prélevé.

Le contrôle des véhicules se fait par un agent qui vérifie le nombre de personnes à bord du véhicule et l'état de la lampe qui s'allume si le transpondeur est activé ou reste éteinte dans le cas contraire. Si l'usager ne respecte pas les conditions il peut être poursuivi et sanctionné d'une amende.

Les résultats d'exploitation de ces voies sont positifs avec 20000 véhicules qui empruntent ces voies chaque jour selon la répartition suivante : 75% de covoiturage et 25% de péage, avec une augmentation de véhicules pratiquant le covoiturage. Une voie HOT achemine 2600 personnes en période de pointe contre 2000 sur les voies classiques et le taux d'occupation de l'I-15 prise dans son ensemble est de 1,4 personne/véhicule, le taux des voies alentours, équivalentes mais sans voie HOT, étant de 1,04 personne/véhicule.

3.6.3 INTÉRÊT ET LIMITE

L'avantage principal de ces sections à péage est qu'elles offrent une alternative aux usagers leur permettant d'éviter les encombrements, de réduire ainsi le temps de parcours et dans une certaine mesure de fiabiliser ce dernier. Dans une certaine mesure car ces voies peuvent être victimes de leur succès et se trouver fortement chargées.

L'intérêt d'une telle solution se trouve également dans le fait que le niveau de tarif à acquitter peut dépendre d'une multitude d'éléments : le type d'usager, le type de véhicule, les heures de la journée (pour lutter contre les nuisances sonores nocturnes par exemple), le niveau de pollution, la route concernée, le niveau de congestion.

Aux Etats-Unis les usagers possédant des véhicules peu polluants (véhicules hybrides) sont autorisés à circuler sur les voies HOT gratuitement (comme ceux qui pratiquent le covoiturage). Ce passe-droit peut sembler injuste socialement. En effet, même si l'incitation à l'utilisation de ce genre de véhicules est louable, l'équité d'une telle mesure est mise à mal si l'on considère que les personnes aux revenus les plus modestes ne seront pas le public concerné, ces véhicules étant les plus récents et donc pas forcément abordables financièrement parlant.

Hormis les éventuels passe-droits autorisés, ce type de procédé se heurte tout de même à un problème d'équité en créant une ségrégation sociale en favorisant les plus riches vis-à-vis des autres. Certains pouvant se permettre de s'offrir des conditions de circulation fluide, les autres devant subir les encombrements faute de facilité financière.

Enfin, comme pour les voies HOV, la pertinence de dédier une voie (ou plus) à ce genre d'option, voies qui trouvent leur intérêt dans la fluidité qu'elles offrent, est à étudier de très près car cela revient à soustraire une voie à un réseau déjà victime de phénomènes de saturation récurrents.

Une question se pose : un tel système ne permet-il pas également de favoriser le transfert modal de la voiture particulière vers les transports publics ? L'utilisateur de la route visualise rarement le coût unitaire d'un trajet contrairement à l'utilisateur des transports en commun. Le fait de devoir s'acquitter d'un tarif pour éviter les bouchons peut amener l'utilisateur à envisager les transports en commun comme une solution alternative aux mêmes effets et revenant, qui plus est, moins cher.

En restant dans le domaine du transfert modal, ce genre de péage pourrait également s'appliquer en zone urbaine où le tarif de la section routière serait dynamique, pas seulement fonction des conditions de circulation mais également selon de l'offre de transport public présente à proximité. A Une offre de transports publics importante correspondrait alors un tarif élevé à acquitter pour le péage.

3.7 LA RÉGULATION DES VITESSES VARIABLES

3.7.1 LE PRINCIPE

La régulation des vitesses variables consiste à modifier dynamiquement la limitation de vitesse en vue de modifier la distribution des vitesses des conducteurs.

L'affichage des limitations de vitesse variables se fait généralement sur des PMV et le nombre de vitesses affichées se situe généralement entre 2 et 3. L'information indiquée ne se borne généralement pas à une information numérique mais peut prendre la forme de l'association d'un message textuel et d'un pictogramme.

Le système technique est constitué de capteurs, dont les mesures transitent par un poste de commande constitué de logiciels et d'algorithmes qui délivrent l'information adéquate aux usagers de la route sur des PMV.

La stratégie de limitation de vitesse peut dépendre de différents critères tels que le volume du trafic, les conditions météorologiques, les heures de la journée, les niveaux de pollution, etc., conditions pour lesquelles les vitesses réglementaires ne sont pas forcément pertinentes.

La régulation des vitesses peut avoir comme objectifs :

- l'amélioration de la sécurité,
- l'optimisation du trafic,
- la réduction des nuisances sonores,
- la réduction des consommations et la diminution de la pollution,
- l'augmentation du confort.

3.7.2 LES EXEMPLES

De nombreuses expérimentations à travers le monde prouvent l'efficacité de cette mesure.

L'exemple récent de l'autoroute A7 (France) fait partie de ces expérimentations réussies.

Cette autoroute est sujette à de fréquents encombrements, notamment pendant la saison estivale. En 2003, les conditions de trafic entre Valence et Montélimar étaient difficiles avec

un flux de 75000 véhicules/jour, avec des pointes mesurées à 115000 véhicules/jour durant l'été.

L'objectif du gestionnaire de l'autoroute a été d'analyser la circulation en cours via la vidéosurveillance (différences de vitesses, nombres de véhicules) et, à partir de ces données, calculer une vitesse de circulation à indiquer aux automobilistes dans l'optique d'améliorer la fluidité du trafic.

La signalisation des limites de vitesse s'est faite via des PMV avec en support des messages sur la radio de l'autoroute (fréquence 107.7).

Une expérimentation a été réalisée sur une portion de 90 km entre Orange et Valence en août 2004. Pendant cette période la limitation des vitesses s'est déclenchée 60 fois :

- 95 heures à 110 km/h (au lieu de 130 km/h),
- 32 heures à 90 km/h (au lieu de 130 km/h).

Les résultats ont été les suivants :

- gain de temps estimé à plus de 30000 heures,
- réduction des encombrements de 16 %,
- réduction du nombre d'accidents de 48 %,
- capacité de l'autoroute augmentée de 3%,
- augmentation de 10% du débit pendant les heures de pointes,
- augmentation de l'homogénéité des vitesses (dispersion de 2 km/h au lieu de 7 km/h),
- gain en confort qui s'exprime par la réduction des accidents, la réduction des congestions et l'homogénéisation des vitesses.

Un autre exemple concerne les voies rapides urbaines à l'entrée de Marseille. La régulation des vitesses variables s'effectue sur une portion de 10 km comprenant une centaine de PMV et une centaine de points de mesure du trafic pour la plupart à base de radars. Ce système détecte automatiquement les perturbations et les encombrements et active les PMV en conséquence en proposant des vitesses de 90, 70 et 50 km/h (110 km/h étant la limitation réglementaire).

Les résultats mesurés entre 1976 et 1992 montrent que le volume du trafic a doublé et que le nombre d'accidents est resté le même, soit une division du taux d'accidents par deux.

3.7.3 INTÉRÊT ET LIMITE

Les études ont montré que les véhicules ayant une vitesse inférieure ou supérieure à la moyenne ont un risque d'accident plus important que la moyenne, la gravité des accidents étant bien entendu plus importante à vitesse élevée. La réduction des vitesses trop élevées et la réduction de la dispersion des vitesses, à l'origine donc de comportements dangereux tels que les dépassements, les changements de file, les accélérations et les freinages brusques, améliorent la sécurité. De plus, la variation des limitations de vitesse rend ces dernières plus flexibles et plus appropriées aux conditions de circulation. Ces mesures améliorent la crédibilité des limitations de vitesses aux yeux des conducteurs et par là même favorisent leur respect.

Ci-dessous est représenté le diagramme fondamental débit/vitesse. Les courbes, élaborées à partir de mesures réelles sur les voies rapides existantes, et ayant le même profil que le diagramme ci-dessous, permettent de démontrer que le débit maximum pour une voie rapide est obtenu avec une vitesse de 70 à 80 km/h.

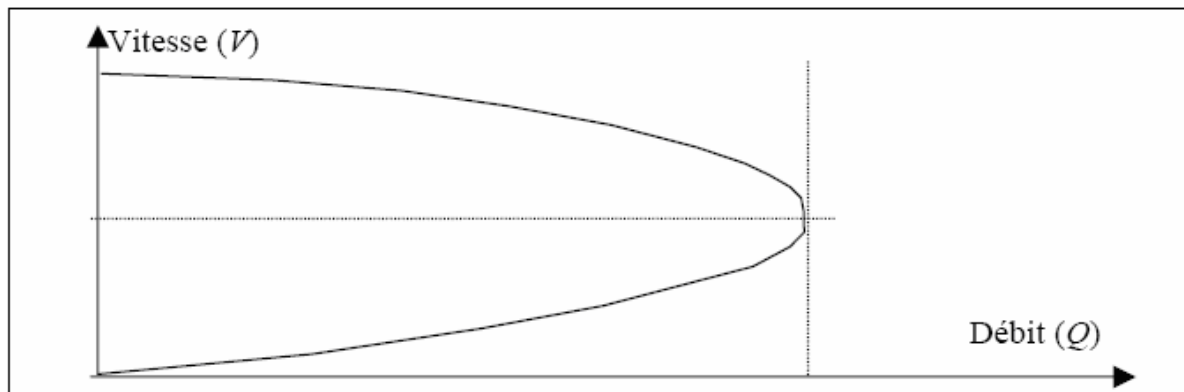


Figure 17 : diagramme débit/vitesse

Bien que d'autres éléments interviennent dans l'augmentation de la capacité d'une infrastructure routière, tels que l'harmonisation naturelle des vitesses, les comportements et la maîtrise du véhicule par le conducteur, les performances des véhicules ou la qualité de l'infrastructure, la régulation des vitesses augmente la capacité de l'infrastructure routière et favorise un écoulement plus fluide avec pour conséquence la réduction et la fiabilisation des temps de parcours.

La somme des bruits du moteur et du roulement des pneus croissent essentiellement avec l'intensité du trafic et la vitesse des véhicules : à une variation de 10 km/h correspond à peu près une augmentation de 1dB(A). La diminution du bruit induite par une diminution de vitesse de 130 à 70 km/h est équivalente à une diminution par 2 du nombre de voitures. C'est ainsi qu'agir sur la vitesse, c'est agir sur le bruit.

La régulation des vitesses permet d'adapter les vitesses aux conditions de circulation et par là même d'inciter à une conduite plus « apaisée » évitant ainsi les types de conduite saccadée (accélération, freinage, changement de rapport) qui accroissent les consommations et donc les pollutions (les émissions de CO₂ étant proportionnelles au carburant consommé). Une diminution de la vitesse de 10 km/h permet de consommer 7% de carburant en moins.

Ces mesures améliorent également le confort d'usage, car celui-ci résulte notamment de l'amélioration de la sécurité, de la réduction et de la fiabilisation des temps de parcours. Un autre avantage socio-économique est le coût moindre du déplacement pour l'utilisateur. En effet, le temps de parcours et les coûts d'utilisation (quantité de carburant, usure des pneus etc.) du véhicule s'en trouvent réduits.

Le handicap de telles mesures est le niveau de compréhension que peuvent en avoir les usagers étrangers. La mobilité des voyageurs étant croissante, en Europe notamment, cette question n'est pas de second ordre. Les messages affichés par les PMV doivent donc favoriser les messages numériques et les pictogrammes par rapport aux messages textuels.

3.8 VOIES SUPPLÉMENTAIRES DE POINTE

3.8.1 LE PRINCIPE

Les voies supplémentaires de pointe ou voies auxiliaires dynamiques (en anglais Peak lanes ou Rush Hour Lanes) consistent à ouvrir la BAU à la circulation temporairement et uniquement aux heures de pointe.

Une signalisation renforcée accompagne cette affectation variable.

Cette solution peut s'appuyer sur différentes techniques dont certaines n'en sont encore qu'au stade de l'expérimentation.

3.8.2 LES EXEMPLES

En région parisienne, les sections de l'A86 et de l'A4, qui comprennent respectivement 2 et 3 voies, se rejoignent sur une partie commune n'en comprenant que 4. Cette situation est la cause d'encombres quotidiens qui dépassent régulièrement les 10 kilomètres. En attendant l'opération lourde d'infrastructure qui assurera la continuité de l'A86 sur de nouvelles voies de circulation, il a été décidé de mettre en place un dispositif dynamique de gestion des voies afin d'améliorer les conditions de circulation uniquement quand cela est nécessaire.

Depuis le 25 juillet 2005, le système mis en place permet d'offrir une cinquième voie de circulation sans modification des emprises de l'infrastructure. Ceci est réalisé en autorisant l'accès de la BAU.

La connaissance du nombre de véhicules/heure circulant en heure de pointe et la capacité qu'offre alors l'infrastructure a permis d'estimer le déficit de celle-ci. En se basant sur des sections autoroutières à caractéristiques similaires, la SISER a déduit le gain qu'une cinquième voie pourrait offrir et a estimé que celle-ci résorberait pour partie les embouteillages. A noter que la mise en place du système s'est accompagné du rétrécissement des voies, ce qui a pour conséquence une baisse de la capacité d'absorption (évaluée à 5%).

Cette voie auxiliaire, prise sur la BAU, est ouverte lorsque la demande du trafic le nécessite et est interdite à la circulation en dehors de ces périodes. L'ouverture et la fermeture de ces voies auxiliaires se fait à l'aide de glissières automatiques mobiles appelées glissières mobiles d'affectation (GMA). Les GMA sont alignées le long des glissières de sécurité lorsque la voie est ouverte et, au moment de la fermeture, elles pivotent pour constituer un obstacle physique occupant la presque totalité de la voie auxiliaire. Les GMA sont réparties de telle sorte qu'en tout point du tracé les usagers les aperçoivent et soient ainsi dissuadés de les emprunter.

Dans chaque sens de circulation, la première GMA fait 69 mètres de long et les suivantes 25 mètres.

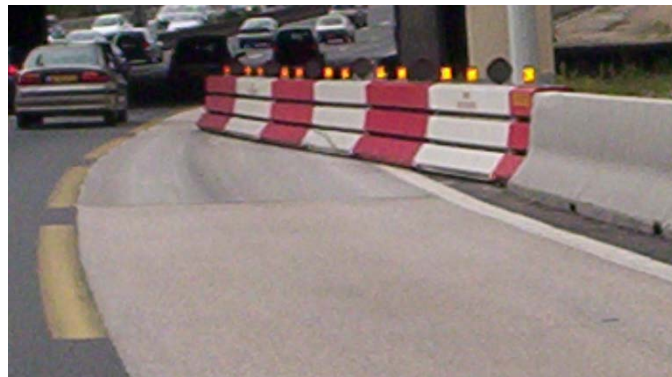


Figure 18 : Glissière mobiles d'affectation

Des mesures complémentaires accompagnent ce dispositif pour garantir la sécurité et le bon fonctionnement global, il s'agit :

- de PMV, qui avertissent les usagers de l'ouverture ou de la fermeture de la voie (cf. figure 19),
- de la couleur du revêtement de la voie auxiliaire qui est plus claire que les autres afin de mettre en relief son caractère différent d'une voie de circulation « normale » et d'une BAU « normale » ; elle est également séparée des autres voies par une signalisation horizontale jaune,
- de la limitation de la vitesse à 90 km/h (contrôlée par des radars automatiques),
- de la couverture de l'ensemble de la zone par de la DAI.



Lorsque la BAU est ouverte une flèche directionnelle supplémentaire s'allume pour indiquer l'ouverture de la voie.

Des PMV indiquent via des messages textuels l'état de la voie (ouverte ou fermée).

Figure 19 : PMV sur l'autoroute A4

Ajoutées à cela, d'autres mesures viennent améliorer le fonctionnement du dispositif :

- l'aménagement de bretelles d'accès,
- la régulation dynamique des accès (cf. chapitre 3.13.2).

Aujourd'hui, l'évaluation des impacts sur les conditions de circulation de l'utilisation dynamique de la voie auxiliaire est en cours de réalisation par l'INRETS. Cette évaluation comparera la situation de référence à 2 x 4 voies avec BAU à la configuration actuelle à 2 x 5 voies basée sur les données 2006.

Dans le même principe mais en utilisant un dispositif totalement différent, aux Pays-Bas, une expérimentation tout à fait innovante s'est déroulée sur quelques mois en 1999 sur une section de 1500 mètres de l'autoroute A15 en direction de Gorichem. Cette expérimentation concernait l'utilisation de la BAU comme voie de circulation supplémentaire pendant les heures de pointe, rajoutant ainsi une voie de circulation aux deux voies existantes. Cette affectation s'est appuyée sur la technique du marquage au sol dynamique par laquelle une ligne continue se transforme en ligne discontinue grâce à des bandes lumineuses variables en fibre optique qui remplacent la ligne blanche classique.

Ci-dessous, la configuration dans laquelle la BAU est active et remplit ses fonctions, la ligne est bien continue :



Figure 20 : BAU active

Source : Dynamische Rijbaanmarkering – State of the art

Ci-dessous, la configuration en heure de pointe dans laquelle la BAU est supprimée, la ligne est bien discontinue :



Figure 21 : BAU inactive

Source : Dynamische Rijbaanmarkering – State of the art

Les PMV au-dessus des trois voies s'adaptent à la situation dans laquelle se trouvent les voies. Les directions sont indiquées différemment et une limitation de vitesse à 90 km/h est prescrite. Ces PMV informent l'utilisateur du changement de la situation et renforcent sa compréhension.



Figure 22 : source Factsheet Flexible Lane Marking

La suppression de la BAU pendant les heures de pointe est compensée par une petite zone de refuge.

Les voies sont contrôlées par des caméras vidéo qui détectent automatiquement l'arrêt du trafic. L'infrastructure revenant dans sa configuration standard lorsque :

- un véhicule circule très lentement sur la voie auxiliaire,
- un véhicule est arrêté sur la voie auxiliaire,
- il y a un accident.

Les résultats de cette expérimentation indiquent que l'utilisation de la BAU semble avoir un effet positif sur l'écoulement du trafic. Ainsi est ressorti que :

- la vitesse des automobilistes a augmenté d'environ 20% lors des heures de pointe de la fin de journée,
- la durée des embouteillages est passée de 145 minutes à 40 minutes,
- la période des heures de pointe s'est raccourcie de 45 minutes.

Quant à l'adaptabilité et au comportement des usagers, des enquêtes ont été menées pour les estimer et il en ressort que :

- 90% des usagers de la route ont réagi convenablement au marquage au sol dynamique,
- 10% des usagers ont eu des difficultés et pour des raisons inconnues ont emprunté la BAU hors des heures de pointe,
- les plus de 65 ans n'ont pas eu plus de difficultés que les autres usagers,
- les usagers occasionnels ont eu plus de difficultés que les usagers réguliers avec le système,
- 59% des usagers ont estimé que la visibilité du système était satisfaisante alors que 30% l'ont trouvée trop faible. La mauvaise visibilité étant surtout ressentie entre 7 heures et 8 heures le matin, lors du lever du soleil.

Quant aux aspects techniques, ils sont apparus encore insuffisants en ne résistant pas à l'impact de la circulation routière, des développements techniques ont été estimés nécessaires.

3.8.3 INTÉRÊT ET LIMITE

L'utilisation de la BAU comme voie supplémentaire de pointe soustrait à l'infrastructure un espace pouvant assurer les fonctions telles que :

- l'arrêt d'urgence,
- l'intervention des véhicules de secours,
- la récupération de véhicules déviant de leur trajectoire,
- l'évitement de collisions entre plusieurs véhicules,
- le dégagement de véhicules accidentés,
- la mise en place temporaire de signalisation d'encombrements et d'accidents,
- etc.

L'utilisation de cette voie doit donc s'accompagner d'un panel de mesures tendant à minimiser l'utilité de ces fonctions.

Le cas de l'A4-A86 en est une illustration. La limitation de vitesse, par exemple, est une mesure qui permet de réduire la probabilité d'accident grave et par là même réduit l'utilité de la BAU. Mais il faut garder à l'esprit que la BAU reprend sa fonction suite à un accident.

La vidéo surveillance et la détection automatique des incidents sont également nécessaires pour anticiper les dégradations des conditions de circulation et déclencher les mesures adéquates le plus rapidement possible, rétablissant ainsi des conditions de circulation sécurisées.

Un autre aspect primordial est la lisibilité qu'a l'usager vis-à-vis de la BAU, et de son caractère empruntable ou non, à un instant t. Pour cela la signalisation horizontale et verticale doit être la plus explicite possible et éviter ainsi une utilisation non appropriée et en corollaire une diminution de la sécurité des usagers. L'évaluation hollandaise apprend qu'une bonne signalisation s'accompagne d'un comportement approprié.

Le danger d'une utilisation intermittente de la BAU peut être une systématisation de l'usage de la BAU en dehors des périodes autorisées, et ce, de façon volontaire ou non (incivilité ou inadvertance par exemple). Le recours à un système similaire à celui utilisé sur l'A4-A86, c'est-à-dire avec des barrières physiques semble pouvoir éviter cet écueil.

Ces solutions s'annoncent prometteuses à condition d'être accompagnées de systèmes de surveillance renforcée, comme c'est le cas sur l'A4-A86. Il paraît également indispensable d'avoir des systèmes permettant à la BAU de recouvrer rapidement sa fonction première pour permettre aux usagers en difficulté de pouvoir s'arrêter en toute sécurité et d'avoir également une capacité d'intervention des secours relativement rapide. Ces impondérables passent par l'utilisation de systèmes dynamiques centralisés.

3.9 UTILISATION PÉRENNE DE LA BAU

3.9.1 LE PRINCIPE

Cela consiste en la suppression de la bande d'arrêt d'urgence pour offrir une voie supplémentaire à la circulation et augmenter ainsi la capacité de l'infrastructure. Cette mesure s'accompagne d'une réduction de la largeur des voies.

L'utilisation du terme «pérenne» pourrait s'opposer au terme «dynamique», mais l'exemple qui suit justifie la classification de ce procédé dans la gestion dynamique de la route.

3.9.2 LES EXEMPLES

En région Ile-de-France, une opération de réaménagement sur le tronc commun A3-A86 a été mise en œuvre en l'an 2000. Le bouclage de l'autoroute A86 dans le département de Seine-Saint-Denis a induit une augmentation du trafic sur la section commune avec l'autoroute A3, déjà fortement chargée. L'infrastructure devait donc être soumise, en heures de pointe, à des phases de congestion de plus en plus importantes. Un élargissement de la voie n'a pu être envisagé du fait de la configuration de l'infrastructure. La solution retenue a été le passage d'une infrastructure à 2 x 4 voies avec BAU à une infrastructure à 2 x 5 voies sans BAU. Toutefois, en cas d'incident, la BAU recouvre ses fonctions grâce au déploiement de Biseaux de Rabattement Automatiques (BRA). C'est ici que la notion de gestion dynamique de la route prend sa justification. De plus on peut considérer que ce procédé est identique à celui développé au point 3.8 (voies supplémentaires de pointe) mais en ayant des temps d'ouverture beaucoup plus longs tout en recouvrant sa fonction première de BAU lors d'un incident.

Ce réaménagement s'est accompagné d'une redéfinition de la largeur de la chaussée et des voies de circulation. La largeur totale de la chaussée est passée de 16,7 mètres à 16,9 mètres. La voie de gauche (la plus rapide) est passée de 3,5 m à 3 m, les 3 autres voies de 3,5 m à 3,2 m et la BAU de 2 m à 3,2 m. La bande dérasée de gauche, quant à elle, est passée de 0,7 m de largeur à 0,5 m. La nouvelle configuration de la chaussée est dotée d'une bande de 0,6 m entre la barrière latérale et la voie la plus à droite.

Des mesures complémentaires, visant à compenser la suppression de la BAU, ont été mises en place, il s'agit :

- d'un réseau d'appel d'urgence,
- de panneaux à message variables,

- de caméras de télésurveillance,
- d'un système de détection automatique d'incident,
- d'une limitation de la vitesse à 70 km/h,
- d'un mur antibruit de chaque côté de la chaussée.



Figure 23 : Tronc commun A3-A86 avant aménagement
Source : SISER



Figure 24 : Tronc commun A3-A86 après aménagement
Source : SISER

Les évaluations approfondies concernant les impacts de ce type de réaménagement étant assez rares, l'intérêt est grand de présenter ici les résultats d'une évaluation réalisée par l'INRETS.

Cette évaluation permet d'apprécier les impacts de ce réaménagement du point de vue de la sécurité, de la fluidité de la circulation, de la pollution locale, des nuisances sonores et de l'aspect socio-économique.

Le tableau ci-dessous présente l'évolution des données d'accidentologie suite au réaménagement :

	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Trafic moyen (véh/jour)	213300	222300	224800	231400	236700	240000
Nbre d'accidents	6	8	19	33	32	31
Nbre d'accidents mortels	1	1	0	0	0	0
Nombre de tués	1	1	0	0	0	0
Nombre de blessés graves	1	2	1	1	2	2
Nombre de blessés légers	12	10	22	41	39	34
Gravité (en %)	33,3	25	5,3	3	6,3	6,5
Taux d'accidents (100 millions de véh x km)	11,9	15,2	35,6	60,1	57	54,4
Taux de tués	0,1	0,1	0	0	0	0
Taux de blessés graves	0,1	0,1	0	0	0	0
Taux de blessés légers	1	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6

Tableau 4 : Evolution des indicateurs de la sécurité sur A3-A86

Le tableau 4 fait apparaître que le taux d'accident a fortement augmenté mais que le taux de gravité lui, a fortement baissé. Ici, le réaménagement du tronç commun se solde par une dégradation sensible de la sécurité des automobilistes.

Pour ce qui est de la capacité de l'infrastructure, son augmentation est réelle, passant, dans le sens Paris-Provence, de 8100 véh/h à 9170 véh/h, et dans le sens Province-Paris, de 7890 véh/h à 8550 véh/h.

Une autre amélioration concerne la congestion et les temps passés sur le réseau d'influence, c'est à dire l'ensemble des routes qui perçoivent directement tout changement notable dans les conditions de trafic du tronç commun. Les gains journaliers en période saturée sont de 1428 heures. En période fluide, le temps passé a augmenté de 224 heures. Les gains de temps journaliers sont donc de 1204 heures. En se basant aux règles de pondération fournies dans le rapport du Commissariat Général du Plan (rapport Boiteux), la valorisation du gain annuel relative au temps passé est estimée à 4,11 millions d'euros.

Les impacts sur les aspects environnementaux sont également positifs quoique limités.

	Avant (en tonnes)	Après (en tonnes)	Variation en %
CO	33,7	33,37	- 1
CO2	774,7	773,7	- 0,1
HC (Hydrocarbure)	10,1	10,04	-0,6
Carburant	241,83	241,48	-0,1

Tableau 5 : Variation des émissions polluantes

La monétarisation de ces émissions affiche des gains annuels de :

- 6825 euros pour l'effet de serre,
- 556000 à 926000 euros, pour les équivalent-kilomètres évités,
- 32812 euros, pour les économies de carburant.

La pose de murs antibruit améliore la situation des riverains malgré l'augmentation de la capacité aux heures de pointe.

Le bilan socio-économique s'avère donc positif dans une perspective de moyen terme. Les bénéfices de la première année se situent dans une fourchette allant de 4,75 à 5,11 millions d'euros (hors bénéfice dû au bruit) pour un investissement total de 20,3 millions d'euros (dont 12,7 millions d'euros pour les écrans acoustiques).

Aux Etats-Unis, en Californie, une analyse similaire, concernant les impacts du point de vue de la sécurité, a été entreprise, sur une période s'étalant de 1991 à 2000, et concernant la transformation d'une infrastructure de 4 voies à 5 voies. La BAU étant transformée en voie de circulation par le rétrécissement de la largeur des autres voies, ces dernières passent de 3,7 à 3,4 mètres. La voie supplémentaire est une HOV (cf. chapitre 3.5) au moins quelques heures dans la journée. La section concernée a une longueur de 78 kilomètres et les valeurs de référence proviennent d'une section non transformée de 31 kilomètres sur la même infrastructure et de 400 kilomètres sur d'autres sites aux caractéristiques identiques.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Type de transformation	Variable	Longueur de la section	Variation en %
4 voies ⇒ 5 voies	Nombre d'accidents	78 km	10,96

Tableau 6 : Variation du nombre d'accidents

Les résultats ci-dessus montrent une augmentation significative du nombre d'accidents, de l'ordre de 11%, suite à la transformation de l'infrastructure de 4 à 5 voies.

3.9.3 INTÉRÊT ET LIMITE

Les deux exemples ci-dessus mettent en évidence une augmentation du taux d'accidents. Les évaluations françaises permettent de conclure tout de même à une diminution de la gravité.

Ces chiffres viennent appuyer l'importance de la fonction de la BAU mais aussi et surtout l'importance de la mise en place de mesures complémentaires se substituant à la suppression de la BAU.

Néanmoins, de ces données, on ne peut tirer de conclusions définitives. Par exemple, l'origine de l'augmentation des accidents, sur la section californienne, peut être attribuée pour toute ou partie à la voie HOV qui permet des vitesses plus grandes que celles possibles sur les voies parallèles et créé de fait un différentiel de vitesse et des changements de voies potentiellement dangereux.

Pas de conclusions définitives mais au moins des tendances et surtout des chiffres, éléments encore trop rares.

Ces quelques chiffres montrent quand même des tendances favorables en ce qui concerne la capacité de l'infrastructure, les phénomènes de congestion, les aspects environnementaux et la rentabilité économique à moyen terme.

Cette rentabilité économique démontre que cette solution est une alternative intéressante à l'agrandissement des infrastructures dans les zones urbaines où cette possibilité s'avère très compliquée si ce n'est impossible.

3.10 UTILISATION DE LA BAU PAR LES BUS

3.10.1 LE PRINCIPE

Dans certains cas, la gestion dynamique de la route, et notamment la gestion dynamique des voies, s'applique spécifiquement aux transports en commun. Certains concepts dédiés aux automobilistes peuvent se transposer vers un autre mode de transport, comme l'utilisation de la BAU exclusivement par des bus.

3.10.2 LES EXEMPLES

Le département de l'Isère a mis en place, en 2002, un réseau express routier d'autocars. Les lignes appartenant à ce réseau empruntent le réseau autoroutier, notamment l'A48 et l'A41. L'inconvénient constaté pour les bus de circuler sur le réseau autoroutier est de voir leurs vitesses commerciales diminuer à cause des encombrements récurrents se produisant sur l'A48 aux heures de pointe. La solution envisagée pour améliorer la circulation des bus a été de leur réserver une voie de circulation sur une bretelle de sortie de l'A48 (sortie du Pont d'Oxford précisément).

L'aménagement, réalisé et mis en service en 2004, a consisté à changer le profil en travers de la chaussée. Avant l'aménagement, le profil comprenait une voie de circulation de 4,25 mètres et une bande dérasée à droite d'une largeur de 2 mètres, et après l'aménagement, le profil est constitué d'une bande dérasée à gauche de 0,55 mètre, d'une voie routière de 3 mètres, d'une voie réservée au bus de 3,50 mètres et d'une bande dérasée à droite de 1,50 mètre. La voie réservée aux bus est matérialisée par un revêtement de couleur et le mot « BUS » inscrit sur la chaussée, comme l'illustre la figure 25 ci-après :



Figure 25 : Voie réservée aux bus sur la bretelle de sortie au Pont d'Oxford

Source : Analyse des possibilités et des conditions d'utilisation des bandes d'arrêt d'urgence sur VRU aux fins de circulation d'autocars – Ministère des Transports.

La fin de la bretelle de sortie n'offrant qu'une seule voie de circulation, des feux tricolores donnent la priorité au bus sauf lorsqu'est détecté un allongement de la file d'attente des véhicules remontant jusqu'à la VRU. En aval de la bretelle de sortie, des feux tricolores coordonnés donnant la priorité aux bus à la fin de la bretelle de sortie favorisent l'entrée des bus dans un carrefour giratoire, puis l'accès à une voie qui leur est réservée en site urbain.

Les mesures, relatives au temps de parcours des bus, ont été effectuées sur un parcours de 1600 mètres, c'est-à-dire 270 m en amont du feu de la bretelle de sortie de l'A48 et 900 mètres après le giratoire.

En heure de pointe du matin, le gain de temps pour les bus est de 39 secondes, soit 16 % pour l'ensemble des 1600 mètres. Le gain le plus important se situe sur la section de voie réservée de la bretelle où leur vitesse moyenne passe de 30 km/h à 50 km/h environ. Le bilan global, intégrant les usagers des bus et les usagers des véhicules particuliers, sur la période de pointe du matin, comprise entre 7h30 et 9h, correspond à un gain de 3h11. Le bilan étant positif pour les usagers des bus avec un gain de 11h04, et négatif pour les usagers des véhicules particuliers avec une perte de temps de 7h53.

Le temps perdu par les automobilistes provenant de la multiplication par deux du volume des bouchons en amont du feu, et ce, malgré une diminution de moitié du volume des bouchons en aval du feu.

Pour ce qui est des impacts sur le comportement des usagers des véhicules particuliers, très peu de mouvements illicites et/ou dangereux ont été relevés. Il y a parmi ceux-ci les comportements volontaires et involontaires. Passons les comportements volontaires qui traduisent l'incivilité de certains usagers et dont l'aménagement n'est pas responsable, et attardons nous sur les comportements involontaires, qui eux, traduisent une incompréhension du système mis en œuvre. Il ressort que le nombre de comportements involontaires soit très faible et qu'ils se traduisent par l'utilisation d'une partie de la voie de bus avant de se rabattre. Ceci exprime donc, une bonne compréhension de l'aménagement.

Un autre cas similaire existe en Angleterre depuis 1999. Une ligne de bus existe sur l'autoroute M4 en direction d'Heathrow sur une longueur de 5,6 km. Une expérience a montré que le temps de parcours pour les usagers du bus a diminué de 3,5 minutes et que le temps de parcours est devenu plus fiable.

3.10.3 INTÉRÊT ET LIMITE

La qualité de services offerte aux usagers des bus par ces aménagements est améliorée. Le temps de parcours est réduit et plus fiable, ce qui rend plus intéressant et plus attrayant l'utilisation des bus. Bien entendu il ne faudrait pas que les usagers de la route ne pâtissent trop de ces gains obtenus par les usagers des bus en voyant leur temps de parcours augmenter de façon trop importante par la dégradation des conditions de circulation. De façon globale, les effets d'une augmentation trop importante des bouchons contrebalanceraient les effets positifs de la voie dédiée au bus que ce soit économiquement, socialement et environnementalement parlant. Un bilan global négatif irait à l'encontre de l'idée de développement durable. L'exemple de l'A48 affiche un bilan global quant au temps de parcours positif (qui peut se monétariser et donc être une composante du bilan économique) par contre le bilan environnemental n'est pas disponible.

Les voies dédiées aux transports en commun ont pour objectif d'améliorer les conditions de circulation de ces derniers en améliorant leur vitesse moyenne. L'utilisation d'un espace réservé aux transports en commun, détériore inéluctablement les conditions de circulation des véhicules particuliers car, si l'on pose comme hypothèse que le volume du trafic des véhicules particuliers ne diminue pas, alors, il y a de fortes chances que leurs conditions de circulation se voient détériorées, ce qui va se traduire par une diminution de leur vitesse moyenne. La vitesse augmentant chez les uns et diminuant chez les autres crée, un écart qui peut avoir des conséquences néfastes quant à la sécurité. Il s'agit donc que l'aménagement soit suffisamment compréhensible par les usagers et que ceux-ci fassent preuve d'une attention accrue.

Les extrémités de la section aménagée doivent contribuer à la valorisation de l'aménagement en permettant aux bus de continuer leur trajet sans souffrir des encombrements. L'exemple, développé ci-dessus, montre que l'on peut palier cet écueil par la mise en place d'un système de feux tricolores qui offre la priorité aux bus à leur niveau puis par la réintégration dans le milieu urbain par une voie qui leur est réservée.

3.11 MARQUAGE DYNAMIQUE AU SOL

3.11.1 LE PRINCIPE

Cette technique permet d'adapter en temps réel le nombre de voies aux conditions de circulation et notamment au volume du trafic, à l'aide de bandes lumineuses. Ce concept permet d'avoir une infrastructure au profil en travers variable. Ces solutions s'accompagnent de signalisations verticales et horizontales en vue d'une meilleure compréhension des usagers.

Le marquage dynamique au sol a plusieurs applications, telles que :

- les voies supplémentaires de pointe (cf. chapitre 3.8),
- les voies supplémentaires de surcapacité (cf. chapitre 3.12),
- les voies d'insertion et de sortie variable (développé dans ce chapitre),
- le double marquage au sol (cf. chapitre 3.12),
- les passages piétons et les voies dédiées aux transports en commun (abordé dans ce chapitre).

***Remarque :** Les voies supplémentaires de pointe avec l'utilisation variable de la BAU via un marquage dynamique au sol, les voies supplémentaires de surcapacité et le double marquage au sol ont été traités dans des chapitres différents pour la clarté de l'exposé.*

3.11.2 LES EXEMPLES

Cette technique innovante est expérimentée aux Pays-Bas et en Allemagne. Les expérimentations concernent la faisabilité technique, avec notamment le choix des plots lumineux, et les impacts sur les usagers, avec la visibilité, l'obéissance et la compréhension de ces derniers.

Aux Pays-Bas, une expérimentation s'est déroulée sur l'A50 au cours des mois d'octobre et novembre 2004 et au cours des mois de juin et juillet 2005. La section d'autoroute concernée par l'expérimentation est sujette à des embouteillages en période estivale et les vendredis après-midi. Cette expérimentation s'appuie sur le principe de la voie supplémentaire de pointe en utilisant la BAU comme voie auxiliaire mais avec la particularité de modifier, à l'aide du marquage au sol dynamique, la bretelle d'accès à l'autoroute. Le profil de la bretelle d'accès varie selon que la BAU est ouverte ou non à la circulation dans le but d'éviter les conflits.

Ci-dessous la configuration de l'infrastructure en heures de pointe (ici le vendredi après midi de 14h00 à 18h00) : la bretelle d'accès est modifiée grâce au marquage dynamique au sol (en jaune sur l'image) et permet aux usagers de continuer sur la BAU qui est ouverte (« spitsstrook » en hollandais, cf. figure 26).

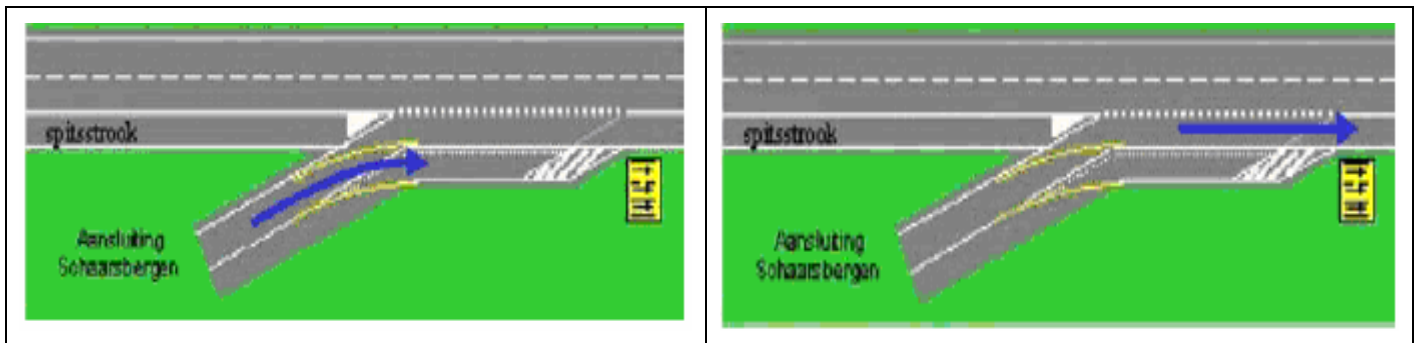


Figure 26 : BAU ouverte en heures de pointe ouverte, bretelle d'accès déplacée.
Source : Dynamische Rijbaanmarkering

Ci-dessous la configuration « normale » (hors heures de pointe) : la bretelle d'accès est en configuration normale et les usagers ne doivent pas emprunter la BAU qui est alors fermée (« vluchtstrook » en hollandais, cf. figure 27), ce qui est indiqué par le marquage dynamique au sol (en jaune sur la figure).

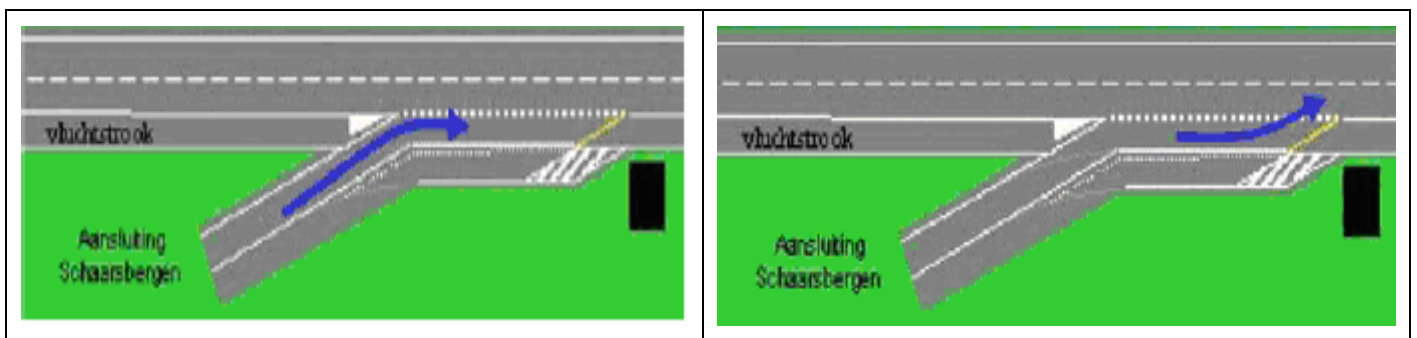


Figure 27 : BAU fermée, bretelle d'accès en configuration normale.
Source : Dynamische Rijbaanmarkering

Le marquage dynamique au sol est constitué de DEL placées dans la chaussée et espacées d'un mètre chacune. L'objectif premier de cette expérimentation n'a pas été la faisabilité technique mais le comportement des usagers. Les aspects techniques ayant été traités une première fois dans une évaluation technique tenue sur l'A44 en 2002 suite aux résultats techniques décevants de deux expérimentations, dont celle sur l'A15 (cf. chapitre 3.8).

Ce sont des caméras vidéo fixes qui ont permis d'observer le comportement des usagers.

Les comportements des usagers ont été très satisfaisants et ce, quelle que soit la configuration dans laquelle l'infrastructure se trouvait. D'autant plus que les informations fournies aux usagers étaient très limitées avec un seul panneau n'indiquant seulement que la section était un support de test de marquage dynamique au sol. Ce qui montre que la capacité du marquage dynamique au sol à guider les usagers est grande.

L'analyse globale indique que 90% des usagers provenant de la bretelle d'accès ont respecté le marquage dynamique au sol, la BAU étant en configuration fermée la plupart du temps. Une analyse plus fine a montré qu'en entrée de bretelle ce sont 80% des usagers qui ont respecté le marquage au sol lorsque la BAU était en configuration ouverte.

A la sortie de la bretelle d'accès, quand le marquage dynamique au sol est activé, le pourcentage de comportement satisfaisant atteint 95%.

Une autre expérimentation sur l'A2, toujours aux Pays-Bas, s'est déroulée en avril 2005. Il s'agissait d'une voie ouverte uniquement en journée (« Day lane » en anglais).

Cette « Day lane » était fermée à la circulation entre 23 heures et 7 heures pour limiter les nuisances sonores. Si cette voie avait été ouverte la nuit à la circulation, les valeurs seuils de bruit, conformément à la loi en vigueur aux Pays-Bas, auraient été dépassées.

Deux types de signalisation ont été comparés. Le premier avec des PMV au-dessus des voies et le deuxième avec un marquage dynamique au sol.

L'objet de cette expérimentation a été de tester le marquage dynamique au sol en tant que solution alternative aux PMV existants au-dessus des voies et affichant le caractère ouvert ou fermé de la voie considérée. L'objectif étant d'examiner le comportement des usagers face aux différentes configurations.

Le premier type de signalisation indiquant l'ouverture ou la fermeture de la voie se fait, respectivement, à l'aide des flèches et de croix de couleurs sur des PMV au dessus de la route.

La journée (entre 7 heures et 23 heures), la voie est ouverte à la circulation et les PMV d'affectation des voies ne sont pas en marche, comme représenté sur la figure 28 :

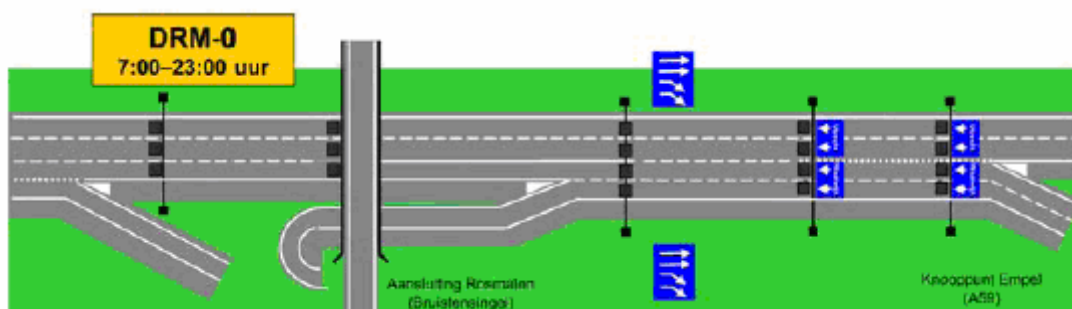


Figure 28 : Day lane ouverte
Source : Dynamische Rijbaanmarkering

La nuit (entre 23 heures et 7 heures), la voie est fermée à la circulation et les PMV d'affectation des voies, qui sont en marche, le signalent, en amont, via une flèche jaune qui invite les usagers à se déporter sur la voie de gauche, puis par des croix rouges qui précisent la fermeture des voies, comme représenté sur la figure ci-dessous :

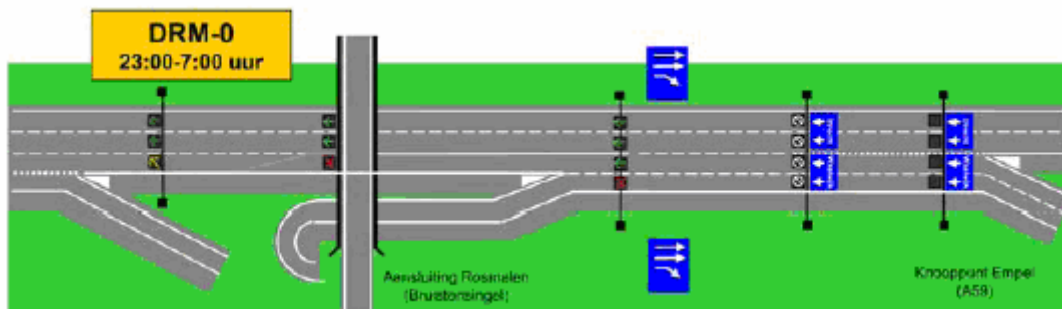


Figure 29 : Day lane fermée
Source : Dynamische Rijbaanmarkering

Pour le marquage dynamique au sol, la première configuration prend place en soirée, entre 19 heures et 23 heures, et incite les usagers à se déporter sur la gauche à l'aide du marquage au sol en jaune sur la figure ci-dessous :

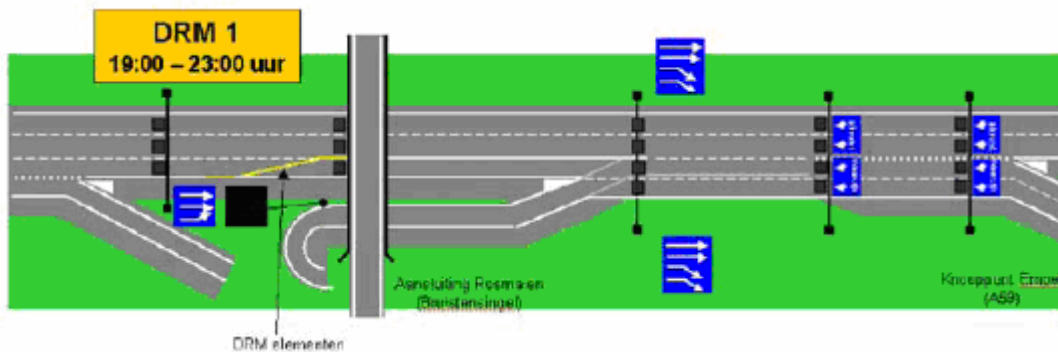


Figure 30 : Day lane et marquage dynamique au sol, en soirée
Source : Dynamische Rijbaanmarkering

Dans un deuxième temps, entre 23 heures et 7 heures du matin, c'est la bretelle d'accès, située en aval du premier marquage dynamique au sol, qui change de configuration pour diriger les usagers vers une voie à emprunter plus à gauche que la voie en configuration normale et tout en prolongeant la ligne continue pour prévenir toute utilisation anticipée de la voie la plus à droite pour les automobilistes désirant sortir de l'autoroute, en jaune ci-dessous :

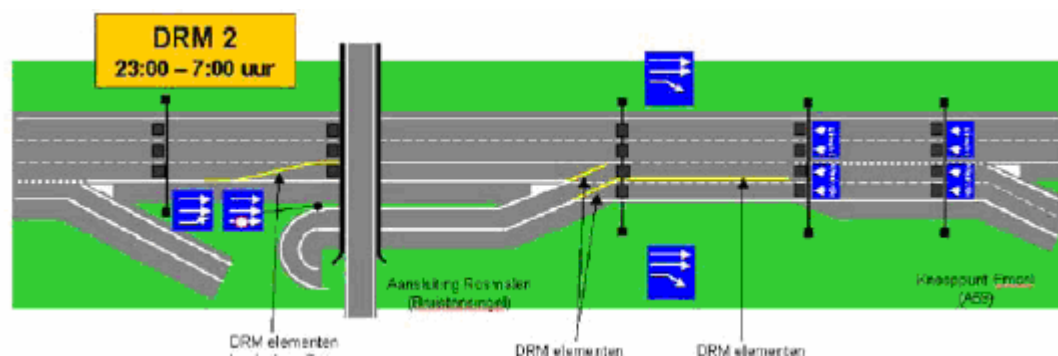


Figure 31 : Day lane et marquage dynamique au sol, la nuit
Source : Dynamische Rijbaanmarkering

La première et la deuxième configuration ayant, outre un marquage au sol différent, des panneaux directionnels différents. Le nombre de flèches directionnelles indiquant le nombre de voies empruntables pour sortir de l'autoroute passant de deux à une. Un autre panneau, en amont, interdit l'accès de la voie seulement entre 23 heures et 7 heures.

Les évaluations ont montré que le taux de comportements satisfaisants des usagers n'était pas élevé lors de l'utilisation de PMV. En effet, seulement 77% des usagers a respecté le changement de file indiqué par la signalisation. Lors de l'utilisation de marquage dynamique au sol, le taux de comportement satisfaisant, quant au changement de file, atteint 88%.

Le marquage dynamique au sol a un taux de comportement satisfaisant plus élevé que l'utilisation des PMV mais, dans les deux cas, les taux n'atteignent pas 95%, cette valeur de 95% ayant été définie comme la valeur seuil à atteindre pour considérer le taux de comportement comme véritablement satisfaisant. En effet, un taux inférieur ne serait acceptable pour des raisons ne serait-ce que de sécurité.

En Allemagne, c'est la sortie nord-ouest vers Francfort (A5/A66) qui est modulable. Cette sortie vers le centre de Francfort est de plus en plus congestionnée par la circulation, et ce, particulièrement les jours ouvrables aux heures de pointe du matin. La solution expérimentée, fin 1999, dans le but d'augmenter la capacité de cette sortie d'autoroute, est également un marquage dynamique au sol accompagné de panneaux de limitation de vitesse variable et d'un système de fléchage lumineux, variable également.

Le nombre de voies de sortie est variable et s'adapte au volume du trafic, les trois scénarii qui sont appliqués étant :

- scénario1 : aucune modulation mise en place avec une sortie libre à droite. les panneaux de limitation de vitesse ne sont alors pas en fonctionnement (cf. figure 32),
- scénario 2 : une voie de sortie obligatoire à droite caractérisée par une ligne de plots lumineux, et une voie mixte tout droit / sortie libre (sur la deuxième voie à droite). des panneaux de fléchage appuient cette nouvelle configuration. les vitesses sont alors limitées : les 2 voies les plus à gauche sont limitées à 100 km/h et les 2 voies les plus à droite sont limitées à 80 km/h (cf. figure 32),
- scénario 3 : deux voies de sorties obligatoires à droite caractérisées par deux lignes de plots lumineux. les panneaux de fléchage s'adaptent une nouvelle fois pour préciser que la deuxième voie de droite n'est plus mixte (tout droit / sortie) mais que c'est désormais une sortie obligatoire. les vitesses sont limitées de la même manière que dans le scénario 2 (cf. figure 32).

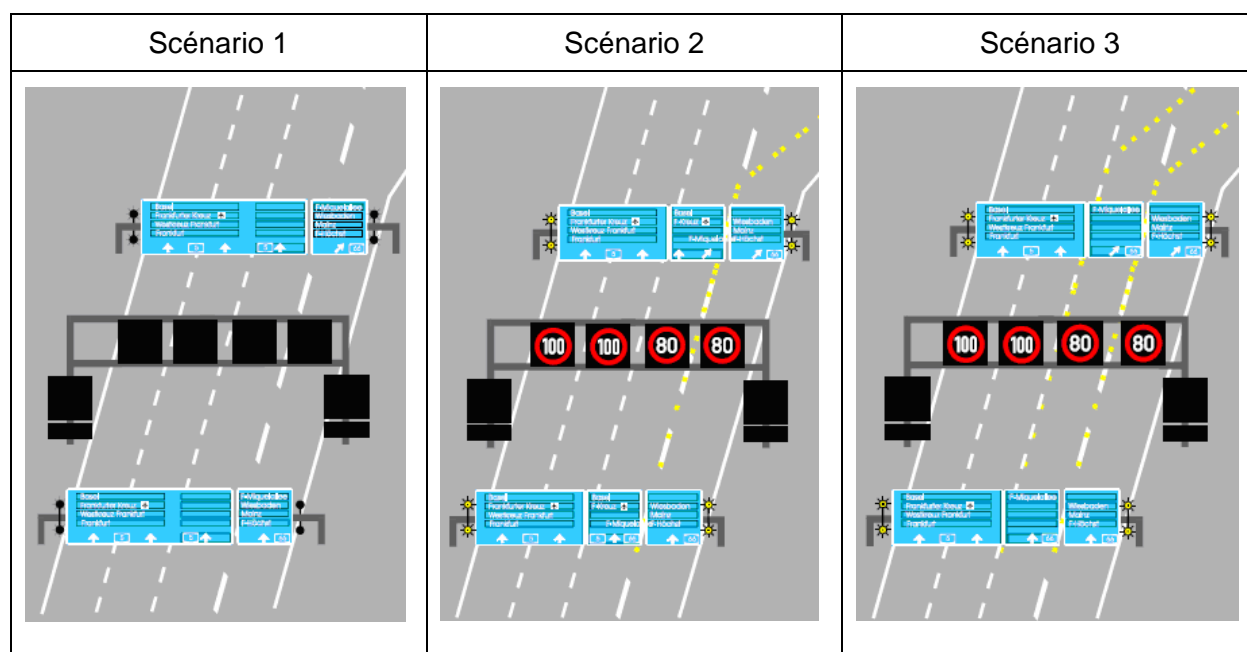


Figure 32 : les trois scénarii sur la sortie variable de l'A5/A66 (Frankfurt)

Source : Amt für Straßen und Verkehrswesen Frankfurt

Ce système fonctionne entre 6h30 et 9h00 du matin selon les conditions de circulation constatées par la vidéo surveillance.

La section concernée fait une longueur totale de 700 mètres et comprend deux chaînes de 700 mètres de plots lumineux.

Ces plots lumineux sont des DEL et ont une durée de vie de 30000 heures environ. Le diamètre de ces plots est de 216 mm, la hauteur de 128 mm et la hauteur au-dessus de la chaussée de 10 mm (cf. la photo ci-dessous).



Figure 33 : plot lumineux

Source : Amt für Straßen und Verkehrswesen Frankfurt

3.11.3 INTÉRÊT ET LIMITE

La compréhension des usagers vis-à-vis de la configuration est très importante pour des questions de sécurité. Mais cet aspect s'accompagne de plusieurs problématiques. La première d'entre elles est que l'utilisateur doit savoir dans quelle configuration l'infrastructure se trouve. Pour favoriser la lisibilité de la route et la sécurité, ce genre d'équipement nécessite des mesures complémentaires au simple marquage au sol, tels que des panneaux de fléchage par exemple et des limitations de vitesses variables appropriées. Les évaluations hollandaises ont montré que, lors de la première utilisation d'une voie ayant un marquage dynamique, les usagers pouvaient avoir un comportement hésitant, et donc dangereux, et que le besoin d'une information claire semble alors nécessaire pour les éviter. Malgré l'hésitation liée à un premier usage, les usagers comprennent assez rapidement le fonctionnement et le comportement adéquat qu'il faut avoir. La question des usagers réguliers ne semblant pas poser de problèmes majeurs a priori, c'est la question des usagers occasionnels et étrangers qui s'impose comme problème majeur.

Un autre aspect de la notion de lisibilité de la route concerne les périodes où le marquage dynamique au sol n'est justement pas activé. Les évaluations hollandaises montrent que celui-ci reste visible et que cela n'influencerait pas le comportement des usagers qui suivent alors le marquage existant. Cependant cette conclusion ne peut être généralisée, en effet différentes configurations géométriques pouvant avoir différents types d'impacts.

Les coûts du marquage dynamique au sol sont aujourd'hui encore très élevés. Par exemple l'aménagement de 250 mètres sur l'A50 aux Pays-Bas, a coûté 257000€, en Allemagne sur l'A5, les 700 mètres d'aménagement ont coûté 410000€. Ceci vient surtout du fait que les produits sont encore en cours de développement et qu'il n'existe pas de chaîne de production à grande échelle. Dans un avenir plus ou moins proche, selon l'état d'avancement du développement de ces produits et selon le marché mondial, les prix diminueront probablement sensiblement et favoriseront les mises en place de nouvelles expérimentations.

La technologie, quant à elle, montre ses limites quant à sa solidité et sa durabilité. Des expérimentations concentrées sur les aspects techniques ont permis des avancées sensibles, mais il reste néanmoins encore des améliorations à apporter. Ces problèmes techniques, dans les expériences hollandaises notamment, ont perturbé l'évaluation des impacts sur les usagers

La portée des évaluations est également limitée par la taille même des sections équipées. En effet, de faibles sections peuvent ne pas inciter les usagers à adapter leur comportement aux nouvelles signalisations.

Limitée encore car les impacts de ces mesures quant au trafic routier n'ont pas été mesurés et auraient été, de toutes façons eux aussi très limités étant donné les tailles réduites des sections expérimentées.

De plus, les impacts sur la sécurité routière sont à l'heure actuelle également inconnus.

Il ressort de ces expérimentations que le besoin de recherche et de développement est encore nécessaire mais que, malgré tout, ces solutions sont prometteuses en offrant une flexibilité à l'infrastructure jusqu'alors jamais vue, limitant donc le besoin de construction de nouvelles infrastructures et permettant de gérer des problèmes de congestion locale.

3.11.4 LES AUTRES APPLICATIONS

Le marquage dynamique au sol, outre la redéfinition du profil en travers de l'infrastructure, dans le but de fluidifier le trafic sur voies rapides, peut avoir d'autres applications. Ces applications peuvent concerner le milieu urbain et avoir comme finalité une offre d'information directionnelle, l'amélioration de la circulation des bus, une augmentation de la sécurité ou même encore la recherche d'économie d'énergie.

En milieu urbain, il peut s'agir par exemple d'un guidage en temps réel des automobilistes vers des parcs de stationnement. Le marquage au sol est actif (flèche au sol directionnelle allumée et ligne discontinue) lorsqu'il reste des places dans le parc de stationnement considéré et inactif (flèche directionnelle éteinte et ligne continue) lorsque le parc de stationnement est complet, tel que représenté ci-après :

Parking P2 fermé
Parking P1 ouvert

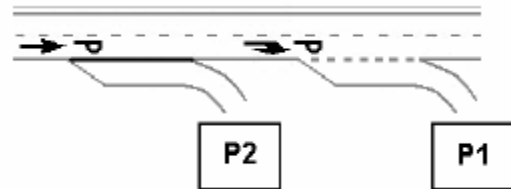
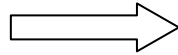


Figure 34 : guidage vers des parcs de stationnement
Source : Dynamische Rijbaanmarkering

Parking P2 ouvert
Parking P1 fermé

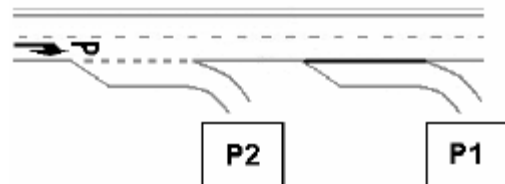
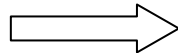


Figure 35 : guidage vers des parcs de stationnement
Source : Dynamische Rijbaanmarkering

Les passages piétons peuvent également faire l'objet d'un marquage dynamique favorisant la sécurité des piétons. Il est à noter que ce type de mesures peut également être utile aux personnes malvoyantes en apportant un confort supplémentaire dans le cheminement de ces dernières en le balisant. Ce marquage lumineux peut être activé manuellement ou automatiquement, à l'aide de détecteur automatique se déclenchant au passage du piéton, tel que représenté ci-dessous :



Figure 36 : passage piéton avec marquage dynamique
Source : In-pavement pedestrian flasher evaluation: Cedar Rapids, Iowa

Différentes évaluations rapportent que les impacts de telles mesures sont positives en réduisant la vitesse des automobilistes à l'approche du passage piétons suite à l'aménagement ainsi qu'en augmentant le pourcentage des arrêts des véhicules au passage d'un piéton. A Washington (USA), une étude a montré une réduction de 80% des accidents sur des passages piétons équipés.

L'application d'un marquage dynamique au sol peut également concerner les ronds-points. Cette application n'existe pas encore mais elle pourrait voir le jour dans un avenir proche. Il n'est pas rare de voir des ronds-points bloqués entièrement à cause d'une seule entrée. Adapter le profil d'un rond-point aux conditions de circulation peut être une alternative intéressante à la réduction des phénomènes de congestion locaux.

Il pourrait s'agir par exemple :

- d'une voie de circulation réservée au flux d'automobile entrant le plus important,
- de l'ajout d'une voie pendant les heures de pointe.

L'application du marquage dynamique au sol peut également concerner les voies de bus, comme c'est le cas d'une expérimentation à La Haye aux Pays-Bas. Pendant les périodes de pointe, ou lors d'encombrement en général, une voie normalement ouverte à la circulation se transforme en voie dédiée aux seuls bus et aux véhicules de secours par l'affichage au sol du mot « BUS », comme illustré ci-dessous :



Marquage désactivé



Marquage activé

Figure 37 : Marquage dynamique au sol pour voie de bus
Source : Dynamische Rijbaanmarkering

Cette mutation, également communiquée aux automobilistes par des PMV, permet aux bus d'éviter les encombrements. Cette solution est un compromis entre les bus devant circuler dans la circulation automobile et les voies dédiées aux bus de façon permanentes. L'une est défavorable aux bus du fait que ces derniers sont alors mélangés à la circulation, l'autre aux automobilistes, par la réduction de la capacité de la route.

***Remarque :** Dans la même optique, de nouveaux concepts sont explorés. Par exemple, celui développé par l'université de Californie, Berkeley et nommé BLIPs (Bus Lane with Intermittent Priorities). Ce concept associe des PMV, la gestion des priorités, la localisation automatique des véhicules et le marquage dynamique au sol. Ce concept n'est pas développé dans le cadre de ce mémoire car il s'appuie sur des techniques qui vont au-delà des réponses qu'apporte l'infrastructure (la localisation automatique des véhicules notamment).*

En ce qui concerne la sécurité, point déjà abordé avec l'application spécifique aux passages piétons, cette technique peut être appliquée à certaines sections de route mal éclairées, qui, associées à une trajectoire sinueuse, peuvent être source d'insécurité et d'inconfort pour l'usager de la route. Un marquage lumineux peut permettre de traiter ces deux points en augmentant la visibilité et la lisibilité du tracé.

Pour ce qui concerne les économies d'énergie, le marquage lumineux peut être également utilisé. Il est à noter que le marquage lumineux est un peu différent du marquage dynamique au sol du fait qu'il est complémentaire au marquage au sol classique et ne fonctionne que la nuit. Aux Pays-Bas, la recherche de la baisse des consommations d'énergie via une diminution de l'éclairage a été atteinte via le recours au marquage lumineux. Les expériences ont montré une baisse de 50% des consommations d'énergie du poste éclairage sur les sections équipées.

3.12 VOIES SUPPLÉMENTAIRES DE SURCAPACITÉ

3.12.1 LE PRINCIPE

Les voies supplémentaires de surcapacité (« plus lanes » en anglais) sont la résultante d'une modification du profil en travers de la route avec la conservation du statut de la BAU. Pour ce faire, les voies sont réduites pour permettre la création d'une voie supplémentaire à gauche utilisable en période de pointe. En dehors des périodes de pointe, cette voie de gauche de surcapacité n'est pas ouverte et la circulation se fait sur des voies nécessairement étroites, le marquage au sol étant permanent. Pour éviter d'avoir des voies réduites hors des périodes de pointe, une solution a été imaginée par les Hollandais : le Dual-mode Markings, le double marquage au sol.

3.12.2 LES EXEMPLES

Aux Pays-Bas, une voie supplémentaire de surcapacité existe sur une section d'autoroute, comme illustré ci-dessous :



Figure 38 : Voie supplémentaire de surcapacité aux Pays-Bas

Source : <http://international.fhwa.dot.gov>

Cette voie étant plus étroite, la limitation de vitesse autorisée sur celle-ci est inférieure à celle des autres voies.

En dehors des heures de pointe cette voie de surcapacité est fermée, la surcapacité de l'infrastructure n'étant plus nécessaire et sa largeur réduite ne permettant pas aux automobilistes, et ce pour des raisons de sécurité, de rouler aux vitesses élevées autorisées.

Dans le but d'éviter l'inconvénient d'avoir des largeurs de voies réduites hors des périodes de pointe, le Rijkswaterstaat Transport Research Centre, sous la tutelle du Ministère néerlandais des Transports, a réalisé des simulations d'une technique ayant recours au double marquage au sol. Cette technique permet de passer d'un profil en travers de deux voies à trois voies via un marquage dynamique au sol avec la BAU qui garde son statut quelle que soit la configuration de la chaussée, comme illustré ci-dessous :

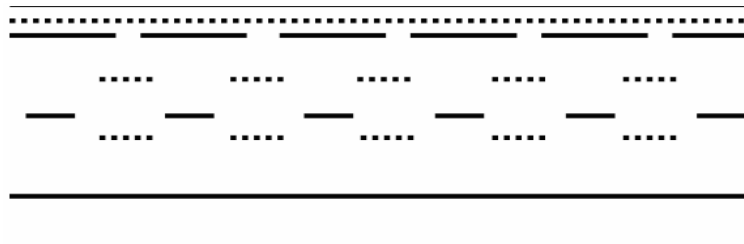


Figure 39 : Dispositif du double marquage au sol

Source : Rijkswaterstaat Transport Research Centre (Pays-Bas)

Les traits continus correspondent à une chaussée à deux voies, les pointillés à une chaussée à trois voies.

Sur les figures 39 et 40, le marquage au sol correspondant à un profil à deux voies domine celui à trois voies.



Figure 40 : Vue du simulateur du double marquage au sol
Source : Rijkswaterstaat Transport Research Centre (Pays-Bas)

Des informations complémentaires, telles que des signaux d'affectation des voies (flèche verte, croix rouge), ainsi qu'une limitation de vitesse, accompagnent les différentes configurations de la voie.

Les essais en simulateur avec des usagers de la route ont montré que 15 % des personnes faisaient des erreurs d'appréciation quant à la configuration dans laquelle se trouvait la voie et conduisaient, par exemple, en respectant le marquage à deux voies alors qu'on était en configuration trois voies. Pour éviter cet écueil, des solutions alternatives ont été recherchées mais n'ont pas été approfondies à ce jour.

3.12.3 INTÉRÊT ET LIMITE

La voie supplémentaire de surcapacité ne trouve pas son intérêt seulement dans la capacité à supporter un flot de véhicules plus important, et en corollaire l'amélioration des débits, mais aussi dans le fait qu'elle offre une capacité supérieure de stockage de véhicules en période de pointe, ce qui est connu en anglais sous le nom de *buffer*. Ceci est intéressant dans le fait que l'impact de la congestion de cette section peut être moins important sur le réseau routier proche.

Ces sections de route, ayant des voies réduites, ne doivent pas être trop longues (de l'ordre d'une poignée de kilomètres) car elles requièrent, de la part des usagers de la route, une attention plus forte que sur une section à largeur normale.

Ce type de section doit être accompagné de mesures de sécurité renforcées, telles que la DAI et une limitation de la vitesse inférieure à la limitation en vigueur sur les voies à largeur normale.

La littérature rapporte que les gains de capacité dûs à l'utilisation de ce type de voie peuvent atteindre 30 à 40%.

Pour ce qui est du marquage double, son avenir reste incertain étant donné les problèmes, non encore résolus, liés à l'enchaînement des configurations, source de risques vis-à-vis des usagers, et lié à la compréhension de ces derniers vis-à-vis de la configuration de la voie. Ce dernier point, lié à la capacité de l'utilisateur à comprendre le dispositif, est crucial : la quantité d'information que l'utilisateur doit intégrer peut s'avérer être un facteur néfaste à la sécurité routière.

3.13 LA GESTION DES ACCES SUR VRU

L'accroissement de la demande de trafic sur les VRU confère à leurs accès un enjeu capital. En effet, « [...] le débit et la vitesse d'une voie rapide chute lorsque trop de véhicules arrivent par les bretelles d'entrée sur la VRU [...] », SDER, chapitre XIV *la régulation d'accès*.

Deux aspects composent les enjeux liés aux bretelles d'accès des VRU :

- la gestion des priorités, avec en point de mire l'amélioration de l'insertion des véhicules, qui doit optimiser le rendement de l'infrastructure et diminuer les situations à risques,
- la régulation d'accès, fondée sur des calculs théoriques de débit, de vitesse et de taux d'occupation, qui vise à distribuer dans le temps le nombre de véhicules entrant sur la VRU, de manière à ce que ce flux ne vienne pas détériorer l'écoulement de l'axe principal. En d'autres termes, cela permet de maintenir de bonnes conditions de circulation sur la voie principale en utilisant les bretelles d'insertion comme zone de stockage.

Ces deux aspects pouvant être appliqués indépendamment l'un de l'autre, ils constituent ainsi deux procédés d'exploitation distincts ou imbriqués, améliorant ainsi leurs avantages mutuels.

Pour la clarté de l'exposé, ces deux aspects sont traités séparément.

3.13.1 LA GESTION DES PRIORITÉS SUR VRU

3.13.1.1 Le principe

Les variations importantes de trafic constatées sur les voies rapides entraînent des conditions d'insertion multiples. En effet, les conditions d'insertion en période de pointe, avec une circulation saturée et des vitesses réduites, sont totalement différentes de celles des périodes où le trafic est fluide avec une vitesse moyenne des véhicules forcément plus élevée.

Différents régimes de priorité sont applicables sur voie rapide :

- la priorité à la VRU : les véhicules circulant sur la VRU sont prioritaires à ceux arrivant par la bretelle d'insertion (système le plus couramment rencontré en France par exemple),
- la priorité à la bretelle d'insertion : c'est en fait un régime de priorité à droite qui incite les usagers de la VRU à ne pas circuler sur la voie de droite aux abords d'une entrée pour éviter les conflits avec les véhicules entrant (c'est le système utilisé sur le boulevard périphérique de Paris),
- la priorité en «fermeture éclair», système dans lequel les véhicules de la bretelle d'insertion s'insèrent alternativement avec les véhicules de la VRU,
- une priorité variable prenant en compte alternativement les régimes définis ci-dessus.

3.13.1.2 Les exemples

Seule la priorité variable entre dans le cadre de ce mémoire car c'est la seule à être dynamique.

La gestion des priorités sur les voies rapides est en effet un procédé dynamique d'exploitation en faisant varier dans le temps différents régimes de priorité en fonction des conditions de circulation,.

La mise en place de régimes prioritaires variables peut être envisagée via l'utilisation de Biseaux de Rabattement Automatiques (BRA), de SAV ou bien encore par un système de priorité en «fermeture éclair».

Aujourd'hui, il n'existe aucun cas d'application de priorité variable, seul un cas s'en rapproche fortement en Allemagne. Néanmoins des éléments de réponses à la mise en place de cette stratégie voient le jour.

En Allemagne, le regroupement de deux VRU est géré par une affectation variable des voies de circulation en fonction du volume de flux qui se trouve sur les deux branches qui convergent l'une vers l'autre, comme illustré ci-dessous :

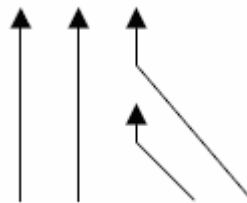


Figure 41 : Affection variable des voies dans le cas d'un regroupement de deux VRU

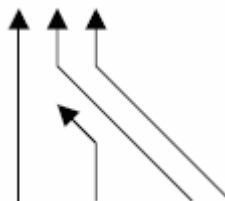
Sources : http://international.fhwa.dot.gov/traveldemand/t1_p08.htm

L'affectation des voies est gérée par des feux d'affectation de voie (flèche verte, croix rouge). Selon les conditions de circulation, les usagers sont alors obligés de se rabattre sur une seule file selon le principe ci-dessous :

Si le flux de la VRU 1 (cf. figure 41) est plus important que celui de la VRU 2 alors le système se trouve dans la configuration suivante :



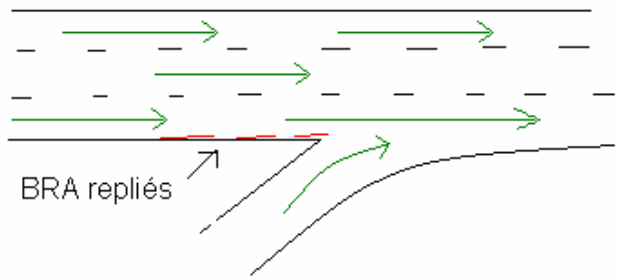
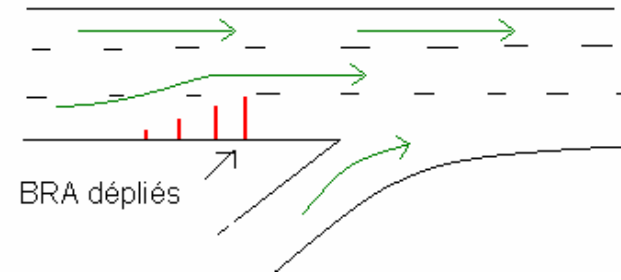
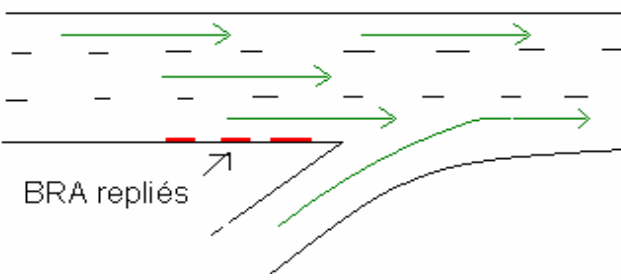
Si le flux de la VRU 2 (cf. figure 41) est plus important que celui de la VRU 1 alors le système se trouve dans la configuration suivante :



Outre cet exemple donc, des éléments de réponses existent :

Le problème de la variation du régime prioritaire se trouve au moment du changement de ce régime. En effet, les usagers sont alors confrontés à des situations conflictuelles, à savoir qui a la priorité ? Les solutions qui permettent d'éviter ces situations s'articulent autour de la séparation des flux pendant le changement de priorité grâce au recours à des BRA, des feux d'arrêt ou des barrières.

Ces mesures doivent être accompagnées d'une signalisation variable indiquant le régime de priorité dans lequel se trouve la section. Ci-dessous, l'explication d'une solution utilisant des Biseaux de Rabattement Automatiques (BRA) pour le passage d'un régime de priorité de la VRU à un régime de priorité à la bretelle d'insertion (BI).

<p>La priorité est à la VRU. Les BRA sont repliés.</p>	
<p>Phase de transition : Les BRA sont dépliés, les usagers de la VRU se déportent sur les voies de gauche. Les véhicules provenant de la bretelle d'insertion accèdent à la VRU sans danger. Le régime de priorité à la BI est alors instauré via une signalisation variable.</p>	
<p>La priorité est à la BI. Les BRA sont repliés car la signalisation variable indique désormais la priorité à la BI.</p>	

Les systèmes s'appuyant sur des feux d'arrêt et des barrières fonctionnent sur le même principe en instaurant une phase de transition entre les différents régimes de priorité.

Le marquage dynamique au sol peut être également un moyen permettant de gérer dynamiquement les priorités. Lorsque la circulation est plus dense sur la VRU que sur la BI, alors les véhicules circulant sur la VRU sont prioritaires vis-à-vis des véhicules circulant sur la BI (cf. configuration 1 de la figure 42), sur cette dernière les véhicules devant se rabattre sur une seule voie avant l'accès à la VRU. Lorsque la circulation sur la bretelle d'insertion est dense et que le volume de trafic sur la VRU est suffisamment fluide, alors le marquage dynamique au sol peut instaurer la priorité à la BI (cf. configuration 2 de la figure 42).

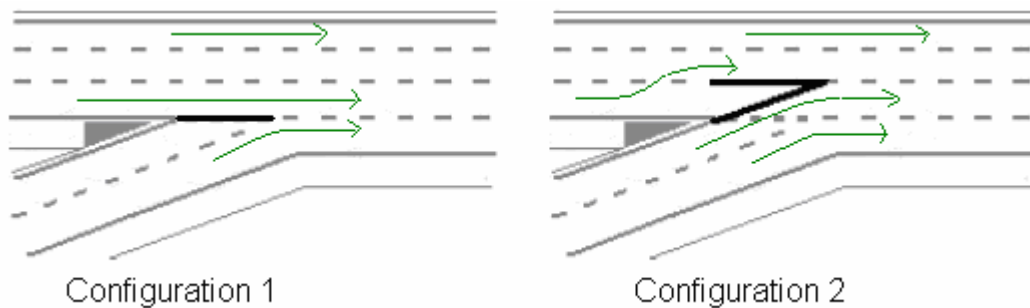


Figure 42 : Gestion des priorités via un marquage dynamique au sol

3.13.1.3 Intérêt et limite

La variation des régimes de priorité cherche à améliorer les débits et les conditions d'insertion sur les voies principales. Le danger provient lors de la période où a lieu le changement de régime de priorité, mais les systèmes permettant de séparer les flux (comme vu précédemment), à ce moment là, apportent des réponses intéressantes en éliminant les situations conflictuelles.

Comme tout procédé variable, ce concept doit être accompagné d'un système d'information efficace permettant à l'utilisateur de savoir quelle est la priorité en vigueur à l'instant t . La gêne que pourrait occasionner ce procédé viendrait probablement de la fréquence de variabilité du régime de priorité. En effet un procédé variant trop de fois dans une journée pourrait dérouter l'utilisateur, à l'opposé, un système variant peu de fois dans la journée, et toujours aux mêmes heures (heures de pointe du matin et du soir par exemple), pourrait favoriser une meilleure compréhension et développerait un certain automatisme chez l'utilisateur. Par là même, le système d'information peut être source d'inconfort et d'insécurité en amenant des informations supplémentaires à assimiler dans une zone requérant déjà une attention soutenue en étant potentiellement conflictuelle.

3.13.2 LA RÉGULATION D'ACCÈS

3.13.2.1 Le principe

Les différents systèmes de régulation sont :

- le mode aléatoire, c'est-à-dire sans régulation,
- la régulation avec insertion en «peloton»,
- la régulation avec insertion en «goutte à goutte».



Figure 43 : Contrôle d'accès en Angleterre
Source : Centrico – Ramp Metering Synthesis

La régulation en «peloton» autorise plusieurs véhicules à passer pendant le même cycle de feux, ce qui peut produire d'éventuels à-coups dommageables pour la fluidité de la section principale. Avec ce mode de régulation, la capacité de la rampe d'accès peut aller jusqu'à 1200-1400 véhicules par heure et par voie.

La régulation en «goutte à goutte» n'autorise, elle, le passage qu'à un seul véhicule par cycle de feux. Avec ce mode de régulation, la capacité de la rampe d'accès peut monter jusqu'à 900 véhicules par heure et par voie.

Le principe de la régulation d'accès s'appuie sur des équipements de recueil de données (majoritairement des capteurs électromagnétiques utilisés dans des boucles de détection), d'algorithmes, de contrôle et de signalisation. Les conditions de circulation sur la section principale sont surveillées et, selon le cas, circulation fluide ou encombrée, la régulation se modifie automatiquement et ne laisse entrer sur la section principale que le nombre de véhicule qui n'aggraver pas ces conditions. D'autres capteurs peuvent également être installés sous la chaussée de la bretelle d'insertion pour contrôler en permanence que la file d'attente des véhicules voulant s'insérer sur la voie principale ne remonte pas trop haut en amont et ne congestionne pas le réseau avoisinant. Si tel était le cas, la régulation permettrait aux véhicules situés sur la bretelle d'insertion de s'insérer sur la voie principale.

Les pratiques de contrôle d'accès sont de deux types :

- stratégies isolées (à feux fixes ou adaptatives),
- stratégies coordonnées.

Les stratégies isolées ne concernent que les stratégies qui s'appliquent à une seule rampe d'accès.

Pour ce qui est des stratégies à feux fixes, les calculs de la durée des cycles autorisant le passage des véhicules issus de la bretelle d'insertion sont basés sur des données historiques et ne sont pas réalisés en temps réel. Par contre, dans le cas des stratégies adaptatives, la régulation des rampes est réalisée en temps réel, en tenant compte de l'état du trafic sur l'autoroute et sur la bretelle d'insertion.

Dans les stratégies coordonnées, les débits de plusieurs rampes (celles faisant partie de la stratégie) sont calculés en fonction des états des unes et des autres et également en fonction des conditions de circulation sur la section principale.

3.13.2.2 Les exemples

Le contrôle d'accès est une technique utilisée aux Etats-Unis depuis le début des années 60 et déployée à l'origine à Chicago, Détroit et Los Angeles. Aujourd'hui, plus de 2100 contrôles d'accès sont en fonctionnement aux Etats-Unis. Voilà qui souligne que, dans ce pays, il s'agit d'une technique est éprouvée.

Différentes configurations existent. Les rampes d'accès peuvent être constituées d'un, deux voire trois voies. La régulation en « goutte à goutte » peut être appliquée, laissant ainsi passer un, deux ou trois véhicules.

Dans les accès à plusieurs voies, il est possible de rencontrer des accès séparés (ou « by-pass ») pour les HOV et les bus. Ces deux derniers sont soumis à un contrôle d'accès différent des autres véhicules, avec bien entendu un cycle de passage plus rapide voire aucun contrôle du tout.

Une évaluation a été réalisée en 2000 à Minneapolis, Minnesota. Pour l'occasion, le contrôle d'accès a été interrompu pendant six semaines. Les résultats, avec et sans contrôle d'accès, ont montré que le contrôle d'accès avait :

- fait baisser le nombre d'accidents de 26% en période de pointe,
- évité 1041 accidents,
- augmenté la capacité de la section principale de 9%,
- évité l'émission de 1160 tonnes de polluants,
- fait augmenter de 21 millions de litres la consommation de carburant (ce seul point négatif est expliqué par l'augmentation de la vitesse moyenne des usagers),
- fait passer la vitesse moyenne de 64 km/h à 69 km/h,
- évité une perte de temps de 2,6 millions d'heures dans les retards.

La monétarisation de ces effets a évalué les gains annuels à environ 40 millions de Dollars. En soustrayant aux gains, les coûts d'exploitation du système (avec les coûts d'investissements inclus) , les bénéfices ont été de 37 millions de Dollars.

D'autres évaluations montrent les mêmes résultats positifs quant à la sécurité. Aux Etats-Unis, la réduction des accidents se situe dans une fourchette de 15 à 50% avec par exemple, à Détroit, une réduction de 50% (avec 28 rampes d'accès équipées). A Portland, le chiffre est de 43% pendant les périodes de pointe (avec 58 rampes équipées).

Pour ce qui est de la vitesse moyenne, les effets sont également positifs. Toujours aux Etats-Unis, les améliorations se situent entre 16 et 62%. Avec, pour avoir un autre exemple chiffré, à Denver, une vitesse moyenne qui est passée de 69 à 80 km/h et à Portland, de 26 à 66 km/h.

Pour ce qui est de la réduction du temps de parcours, la moyenne aux Etats-Unis est de 48%, avec par exemple à Seattle un temps de parcours qui est passé de 22 à 11,5 minutes (52% de réduction).

En 1986, l'INRETS a entrepris une expérience sur le boulevard périphérique intérieur de Paris afin de tester et comparer plusieurs stratégies de contrôle. C'est la stratégie isolée ALINEA (Asservissement LINéaire d'Entrée sur Autoroute) qui a montré la plus grande efficacité. Dans les années 90, une expérimentation de cette stratégie a été menée sur le boulevard périphérique et le boulevard des Maréchaux et les résultats ont montré que le temps passé a été, respectivement, amélioré de 12% et 8%.

En 1999, une nouvelle expérimentation de régulation des accès, mise en place par le Service Interdépartemental d'Exploitation de la Route (SIER) a eu lieu sur l'A6. Elle a concerné la régulation d'accès de cinq accès consécutifs, correspondant à 20 km d'autoroute. La stratégie ALINEA a permis de diminuer le temps de parcours d'environ 15%, d'augmenter la vitesse moyenne de 10 km/h et de baisser la durée des bouchons de 40%, par rapport à une stratégie sans contrôle.

Pour ce qui est des stratégies coordonnées, c'est la stratégie OASIS (Optimal Advanced System for Integrated Strategies) qui a été développée. Il importe de préciser que cet outil élabore des commandes simultanées et coordonnées pour plusieurs stratégies concurrentes (contrôle d'accès, régulation de vitesse, guidage et information des usagers).

Diverses simulations ont été réalisées pour évaluer l'impact de la régulation d'accès isolée et coordonnée en utilisant respectivement les stratégies ALINEA et OASIS. Les résultats ont montré que la stratégie OASIS apporte des gains, par rapport aux stratégies sans contrôle et à la stratégie ALINEA, respectivement de 35% et 25%.

Ces évaluations ont montré l'impact positif de la régulation d'accès isolée mais aussi et surtout de la régulation coordonnée.

Certains ouvrages rapportent que des applications concrètes aux Pays-bas et en Allemagne s'accompagnent, respectivement, d'une réduction des accidents de 35 et 29%.

3.13.2.3 Intérêt et limite

La régulation d'accès peut avoir un ou plusieurs objectifs qui sont autant d'intérêts, tels que la diminution du temps de parcours, l'augmentation de la capacité de l'autoroute, l'optimisation des conditions d'insertion sur la voie principale et par conséquent de la sécurité.

Les temps de parcours s'avèrent généralement optimisés mais ceci est d'autant plus vrai que le parcours sur la voie rapide est long, les usagers ayant un trajet court pouvant alors se sentir pénalisés par la perte de temps, qu'ils ne rattraperont pas, sur la bretelle d'insertion. Prenons par exemple une agglomération équipée d'un tel procédé, ce sont alors les usagers habitant dans la banlieue lointaine qui traversent la zone où les rampes d'accès sont équipées, pour se rendre ou sortir de la ville, sans emprunter les rampes équipées, qui sont favorisés par rapport aux usagers devant emprunter les rampes d'accès équipées. Des questions d'équité et d'acceptabilité sociales sont sous-jacentes du fait que certains trajets sont favorisés par rapport à d'autres.

Cet exemple vient juste souligner le fait que la mise en place de la régulation d'accès n'est pas qu'une simple réponse à un problème localisé, comme par exemple l'amélioration des conditions d'insertion d'une bretelle en particulier, mais peut avoir des conséquences bien plus importantes sur les déplacements concernant une large zone (bien entendu si les rampes équipées sont en nombre suffisant) et qui plus est sur les comportements des usagers. La mise en place d'une telle solution, pouvant favoriser certains déplacements (les longs trajets par rapport aux trajets courts), doit répondre à des choix stratégiques qui décideront quels types de déplacements sont à favoriser dans la cadre de la politique de déplacement mise en oeuvre.

La résolution de problèmes localisés ne doit pas s'accompagner du report de ces problèmes en des zones différentes. Ces reports peuvent être des reports de congestion sur la voie rapide en amont ou en aval de la zone traitée mais également des remontées de files provenant des rampes d'accès sur le réseau urbain adjacent. Pour ce qui est des inconvénients liés aux remontées de files les stratégies mises en place avec des capteurs de détection, contrôlant les remontées de file d'attente sur le réseau urbain et relâchant les véhicules en attente quand cela est nécessaire, s'avèrent efficaces.

Bien que les stratégies à adopter doivent être le fruit d'une vaste réflexion sur les déplacements urbains, les différentes expériences de régulation d'accès montrent des résultats positifs, quel que soit le contexte, et dans des aspects concernant aussi bien les temps de parcours, les capacités des autoroutes que la sécurité... Ces promesses militent pour un développement de cette technique en Europe, et en France notamment, où seulement une vingtaine de bretelles d'accès sont régulées contre, rappelons-le, plus de 2100 aux Etats-Unis.

4. CONCLUSION

La croissance constante de l'usage de la voiture et des déplacements s'accompagne d'effets tels que la pollution atmosphérique et le changement climatique, la dégradation du confort des usagers pendant leur déplacement, les nuisances sonores, la consommation des ressources énergétiques etc.

Cette croissance, qui conduit également à la saturation des infrastructures routières est une force coercitive qui n'attend que la construction de nouvelles routes afin de pouvoir évoluer sans contraintes. Or, la construction d'infrastructures routières s'avère de plus en plus difficile à réaliser pour des raisons environnementales, économiques et sociales.

Devant ce rapport de forces, le monde de la route, et en l'occurrence l'infrastructure routière et sa gestion dynamique, apporte des réponses tentant de satisfaire les exigences contradictoires de l'une et l'autre des parties en ayant l'avantage d'être économe en espace et d'avoir des coûts financiers bien moins élevés que la construction d'une nouvelle infrastructure notamment.

Ces procédés ont la particularité de modifier, de moduler, d'adapter la route aux conditions de circulation en vue de son optimisation. Ils sont de natures différentes, favorisant parfois certains usages, parfois certains comportements, parfois certains flux automobiles ou même encore certains modes de transports.

Tous ces procédés, plus ou moins anciens, voire expérimentaux, apportent des réponses intéressantes quant aux problématiques associées à la circulation routière telles que les nuisances environnementales, l'insécurité routière, la congestion etc. Toutefois, certaines solutions s'accompagnent d'une dégradation de la sécurité, comme c'est le cas de l'utilisation pérenne de la BAU, même si la gravité des accidents diminue parallèlement. Ce qui est intéressant, c'est que quelle que soit la raison de la mise en place d'une de ces solutions, la sécurité ou la recherche d'une meilleure fluidité du trafic par exemple, les effets positifs, bien que parfois modestes, sont souvent multiples. La prudence reste tout de même de mise car les évaluations ne sont pas systématiques ou pas disponibles.

Au sortir de l'exploration des réponses qu'apporte l'infrastructure routière au travers de sa gestion dynamique, outre les impacts positifs et les promesses de celles-ci, il ressort surtout que c'est un domaine jeune et en pleine effervescence, avec en corollaire de nombreux aspects à éclaircir, ceux-ci pouvant être d'ordre technique mais aussi, et surtout, d'ordre conceptuel.

Le premier des aspects relève du pragmatisme. Chaque infrastructure routière et les flux qu'elle supporte étant particuliers, la mise en place d'un procédé d'exploitation dynamique nécessite une connaissance approfondie de la situation locale. Il semble également opportun de considérer les comportements, les mœurs et l'acceptabilité sociale de la population du pays concerné, comme étant des facteurs, non pas forcément rédhibitoires, mais contraignants quant à la transférabilité de tel ou tel procédé. En d'autres termes, il n'est pas certain qu'un procédé applicable dans une situation ou dans un pays le soit également et identiquement dans une autre situation ou un autre pays.

Un éventuel déploiement de ces procédés pourrait se heurter à la faculté de l'utilisateur à «comprendre la route». En effet, si l'on considère que ces procédés d'exploitation nécessitent déjà, pour des raisons de compréhension et de sécurité, des mesures d'accompagnement supplémentaires à celles déjà présentes sur les voies classiques, alors leurs multiplications s'accompagneraient d'une quantité d'informations de plus en plus importante à analyser par l'utilisateur, requérant par là même une attention accrue qui pourrait être pénible et notamment pour une population de plus en plus vieillissante telle que dans les pays développés.

Le recours à des procédés d'accompagnement s'avère pourtant indispensable car, comme il a été vu, une proportion non négligeable d'utilisateurs, même si elle reste faible, montre des difficultés à comprendre le système dans lequel l'infrastructure se trouve. Ceci est particulièrement vrai pour les procédés novateurs.

La gestion dynamique de la route est une réponse à la difficulté de construire de nouvelles routes en permettant une meilleure exploitation des infrastructures déjà existantes. Pourtant il est évident que certaines solutions ne sont pas envisageables pour des raisons d'ordre technique et géométrique (par exemple une largeur insuffisante des terre-pleins centraux empêche la construction d'une voie réversible et/ou dédiée au covoiturage en axe central), ce qui limite irrémédiablement la dissémination de certains procédés. Il paraît donc primordial d'intégrer le concept de gestion dynamique de la route dès la phase de conception afin de prévoir sa future mise en place ou du moins éviter que des aspects géométriques ne la rendent impossible. Les applications et les expérimentations actuelles vont permettre d'enrichir la connaissance et pourront nourrir les réflexions futures quant à l'intégration du concept de la gestion dynamique dès les phases de conception.

Aujourd'hui, le sentiment qui prévaut quant à la gestion dynamique de la route est que les réponses qu'elle apporte concernent pour la plupart un périmètre géographique bien localisé en ayant comme vocation de répondre seulement à un enjeu lui aussi très localisé. Bien entendu, certaines de ces solutions n'auront jamais vocation de répondre à des enjeux autres que localisés, comme les profils en travers variables par exemple, mais pourront néanmoins s'associer à un ensemble de mesures répondant à des enjeux au périmètre plus vaste. D'autres, par contre, semblent ne pouvoir être véritablement pertinentes qu'en étant le fruit d'une réflexion plus globale sur les déplacements dans un territoire, tel que le covoiturage par exemple.

Ces réflexions posent en quelque sorte les limites des réponses explorées ici, car le constat est que les impacts de la mise en place de ces procédés d'exploitation dynamique, bien que positifs, sont très localisés. Les évaluations, quand elles existent, sont limitées elles aussi à un périmètre réduit car elles s'avèrent être d'une grande complexité sur des périmètres plus larges. Par conséquent, les impacts sur le réseau adjacent à la section concernée sont rarement évalués malgré le fait que ceux-ci participent à la pertinence et la réussite ou non des procédés mis en œuvre. En d'autres termes, la considération de la seule dimension locale peut constituer un filtre au travers duquel la résolution d'un problème ne ferait pas apparaître son éventuel déplacement.

C'est la considération d'une dimension plus globale qui apportera véritablement des réponses adéquates et pérennes à l'élaboration de stratégies dont l'éventuel écueil de «déplacer le problème» sera exclu. La mise en place de stratégies coordonnées pour la régulation des rampes d'accès au VRU en est une belle illustration en montrant de meilleurs résultats que les stratégies isolées. Cette dimension plus globale, qui s'exprime par la considération de la notion de réseau, trouve déjà quelques applications, qui ont été entraperçues lors de la présentation des PMV diagrammétriques et des PMV d'indication d'itinéraire alternatif. Cette dimension n'a pas fait l'objet d'un développement ici, car ce n'est plus la route qui apporte alors une réponse mais le système (le réseau) dont elle fait partie.

La gestion dynamique de la route n'est qu'un élément parmi un ensemble de dimensions prenant part à la thématique de la mobilité, telles que la dimension spatiale, qui s'exprime par l'aménagement du territoire, la dimension politique, qui s'exprime par l'organisation des déplacements et bien entendu une dimension plus technique, qui elle s'exprime par l'infrastructure routière et la filière automobile. La mobilité durable passe nécessairement par la combinaison de mesures cohérentes, émanant de chacune des dimensions, et dans laquelle la gestion dynamique de la route trouve sa place en étant porteuse de solutions pertinentes ou prometteuses.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ouvrage, rapport, note, article

- *Automatic Incident Detection and Fast Alert*, CENTRICO Briefing Note, 2 p.
- ARENE IdF, *Qualité des infrastructures de transport au regard du développement durable – Quelques exemples de bonnes pratiques*, ARENE IdF, février 2005, p. 18.
- Baumstark L., *Le coût économique des politiques de réduction de la mobilité*, Colloque ASDRLF, Session : La question de la vitesse, Septembre 2003, 18 p.
- Bolte F., *Collective Speed Control on German Motorways*, 12th ICTCT Workshop, Federal Highway Research Institute, 12 p.
- Cambridge Systematics Inc, *Twin Cities Ramp Meter Evaluation*, Minnesota Department of Transportation, février 2001, 42 p.
- CERTU, CETE de l'Est, *Régulation des vitesses sur voies rapides urbaines – Une synthèse des expérimentations*, CERTU, Collection Rapports d'étude, janvier 1999, 84 p.
- CERTU, INRETS, LCPC et al., *Dégager des surcapacités routières : solutions d'exploitation vues aux Etats-Unis*, Mission collective d'observation, Direction Générale des routes, juin 2005, 124 p.
- CERTU, *Note de problématique relative à la gestion des priorités sur VRU*, Polytech, juin 2001, 97 p.
- Chapulut JN., Taroux JP., *Evaluation socioéconomique des systèmes d'exploitation de la route en milieu urbain*, Conseil Général des Ponts et Chaussées, août 2004, 58 p.
- Cohen S., « A4 – A86 : le bouchon va sauter », *Revue Générale des Routes*, n°842, septembre 2005, p. 41-44.
- Cohen S., « La gestion dynamique des voies : un outil efficace d'exploitation des autoroutes ? », *Revue Générale des Routes*, n°842, septembre 2005, p. 33-38.
- Cohen S., « Gérer les voies pour faire face aux bouchons », *La recherche*, n°398, juin 2006, p. 64-65.
- Cohen S., *Systèmes et méthodes de détection automatique des incidents routiers*, Les collections de l'INRETS, Synthèse n°48, juin 2005, 128 p.
- *Compte déplacements des voyageurs en Ile-de-France, Chapitre III les coûts externes des transports*, STIF, novembre 2003, 117 p.
- Conférences de OCDE, La conférence de Vancouver, *Vers des transports durables*, OCDE, 1997, 74 p.
- *Definition of Variable Message Sign*, CENTRICO, 3 p.
- *Démarche prospective transports 2050 : éléments de réflexion*, Conseil général des Ponts et Chaussées, Ministère des Transports, de l'Equipement, du Tourisme et de la Mer, Mars 2006, 54 p.
- *Dynamic Road Marking*, CENTRICO Briefing Note, 2 p.
- *Dynamische Rijstrook Markeringen (DRM) – Verkeerskundige evaluatie pilots A2 en A50*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat - Rijkswaterstaat, novembre 2005, 57 p.
- Eichler D., Todd M., Barth M., Daganzo C., Shaheen S., *Enhanced Transit Strategies: Bus Lanes with Intermittent Priority and ITS Technology Architectures for TOD Enhancement*, California PATH Program, Institute of Transportation Studies, University of California Berkeley, février 2006, 94 p.

- Federal Highway Administration, *Ramp Management and Control – Handbook*, U.S. Department of Transportation, janvier 2006, 342 p.
- Federal Highway Administration, *Highway traffic operations and freeway management – State-of-the-Practice*, U.S. Department of Transportation, mars 2003, 23 p.
- Federal Highway Administration, *Safety effects of using narrow lanes and shoulder-use lanes to increase the capacity of urban freeways*, Highway Safety Information System, U.S. Department of Transportation, 2004, 6 p.
- Fitzpatrick K., Brewer M., Venglar S., *Managed Lane Ramp and Roadway Design Issues*, Texas Department of Transportation, 2003, 100 p.
- Haj Salem H., « Les promesses du contrôle d'accès », *La recherche*, n°398, juin 2006, p. 66-67.
- Highway Agency, *Active Traffic Management*, Highway Agency, 2005, 19 p.
- Hus J., *Dynamische Rijbaanmarkering - State of the art*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat – Rijkswaterstaat, décembre 2005, 63 p.
- Kannel E., Jansen W., *In-Pavement Pedestrian Flasher Evaluation : Cedar Rapids, Iowa*, Iowa Department Of Transportation, avril 2004, 23 p.
- Kenis E., *Ramp Metering Synthesis*, CENTRICO, 2001, 35 p.
- *Les ITS dans notre vie quotidienne*, ERTICO – ITS Europe Navigation Technologies, 2002, p 73-74-77-78.
- Mitra A., *Vehicle and Occupancy data collection on I-15 HOV & GP lanes in Salt Lake Valley, Utah*, Technical Report, University of Utah, 11 p.
- Mitretek System, *Intelligent Transportation : Systems Benefits*, U.S. Department of Transportation, juin 2001, 55 p.
- *Mobilité 2001 – Vue d'ensemble*, World Business Council for Sustainable Development, août 2001, 34 p.
- *Mobilité 2030 : les enjeux de la mobilité durable – Vue d'ensemble 2004*, , World Business Council for Sustainable Development, juillet 2004, 30 p.
- Moura P., Blanchet JD., Pannier M., et al., *Les grands projets d'infrastructures de transport*, Rapport d'audit, Inspection Générale des Finances, Conseil général des Ponts et Chaussées, février 2003, 11 p.
- Nouvier J., Bouilly C., *Le Certutour à Delft (Pays-Bas)*, Annexe 2 Comptes rendus des deux missions aux Pays-Bas [CD-ROM] du rapport « Evaluation socioéconomique des systèmes d'exploitation de la route en milieu urbain », CERTU, DSCR, 18 et 19 décembre 2002.
- Orfeuil JP., *Transports, effet de serre et changement climatique : les termes des débats*, URF, juillet 2004, 18 p.
- Pollet A., Beubaut M., Madier de Champvermeil P., *Analyse des possibilités et des conditions d'utilisation des bandes d'arrêt d'urgence sur voies rapides aux fins de circulation d'autocars*, Ministère de l'Équipement, des transports, de l'aménagement du territoire, de tourisme et de la Mer, Conseil Général des Ponts et Chaussées, Mars 2005, 43 p.
- Serrier JM., « La régulation d'accès : une technique encore mal connue ? », *Techni.Cités*, n°112, 23 juin 2006, p. 18-19.
- *Speed Control Evaluation on the « Autoroute du Soleil »*, For an intelligent and safe road network, SERTI, Mai 2005, 2 p.

- Stembord H., Kwint H., *Dynamic Cross Sections for Better Use of the Existing Infrastructure*, The 2nd International Symposium on Highway Geometric Design, Mainz, Germany, juin 2000, 16 p.
- Stembord H., Kwint H., *Country Report of the Netherlands*, 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago USA, juin 2005, 22 p.
- SYTRAL, «Un site propre bus réversible à Lyon, une première locale et nationale », CERTU, Transflash, n°290, février 2004, p. 4.
- Texas Transportation Institute, *Managed Lanes: Current State-of-the-practice for Managed Lanes*, Texas Department of Transportation , 24 p.
- Travel Time Dissemination, CENTRICO Briefing Note, 2 p.
- Union Routière de France, *Route et développement durable : les réponses de la filière aux questions environnementales et de sécurité*, 84 p.
- Union Routière de France, « Route et mobilité durable », *Réflexe la lettre de l'URF*, URF, avril 2006, 4 p.

Site Internet

- DRIRE. *Le PPA (Plan de Protection de l'Atmosphère) d'Ile-de-France* [en ligne]. Disponible sur http://www.drire.gouv.fr/ile-de-france/extranet_ppa/
- Federal Highway Administration. *Managing Travel Demand* [en ligne]. Disponible sur : http://international.fhwa.dot.gov/traveldemand/t1_p08.htm (consulté en juin 2006).
- INRETS. *Contrôle d'accès autoroutier* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.inrets.fr/ur/gretia/ControleAR-Fr-H-Hajsaleem.htm> (consulté en juin 2006).
- INRETS. *OASIS : un outil de régulation intégrée et coordonnée du trafic* [en ligne]. Disponible sur <http://www.inrets.fr/ur/gretia/Oasis-Fr-H-HajSalem.htm> (consulté en juin 2006).
- Mountain-Plains Consortium. *HOV lanes Evaluation II* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.mountain-plains.org/pubs/html/mpc-04-164/index.php> (consulté en juin 2006).
- Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. *Les statistiques* [en ligne]. Disponible sur : http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/f1e_stats.htm (consulté en juin 2006).
- Sécurité & signalisation [en ligne]. Disponible sur : <http://www.ses-signalisation.com> (consulté en juin 2006).
- URF. *Faits et chiffres 2005* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.urf.asso.fr/> (consulté en juin 2006).
- ZELT. *A48 – Echangeur du Pont Haubané à Grenoble* [en ligne]. Disponible sur http://www.zelt-fr.org/Voie_busA48.htm (consulté en juin 2006).