

Opération de recherche **SERRES** – Action n°2

***Analyse bibliographique des manques
dans le déploiement de mesures
de gestion dynamique des voies***

Février 2015

Historique des versions des documents

Version	Date	Commentaire
Vdef	Février 15	

Affaire suivie par :

Guénaëlle BERNARD – Cerema / Direction territoriale Ouest / DIMER – GIT

mail : guenaelle.bernard@cerema.fr

Rédacteurs :

Sylvain BELLOCHE – Cerema / Direction territoriale Centre-Est / DMOB/U1

mail : sylvain.belloche@cerema.fr

Guénaëlle BERNARD – Cerema / Direction territoriale Ouest / DIMER – GIT

mail : guenaelle.bernard@cerema.fr

Sandrine ROUSIC – Cerema / Direction territoriale Méditerranée /DAT/DTVDU/SARTU

mail : sandrine.rousic@cerema.fr

Mots-clés :

Préambule.....	4
Introduction.....	4
Qu'est-ce que la gestion dynamique des voies (GDV) ?.....	4
Contexte de ce document.....	4
Réglementation.....	6
Documents réglementaires français.....	6
Réglementation de mesures spécifiques	7
Comparaison de la réglementation avec l'étranger.....	9
Le contrôle-sanction et la réglementation.....	10
Conclusions.....	11
Doctrine technique – Normalisation.....	12
Doctrine technique française.....	12
Normalisation.....	12
Parangonnage de la doctrine à l'étranger.....	12
Conclusions.....	13
Équipements.....	15
Problématique.....	15
Les différents équipements routiers et les problèmes rencontrés.....	15
Conclusions.....	16
Signalisation.....	17
Points problématiques.....	17
Marquage.....	18
Signalisation lumineuse horizontale.....	19
Coloration de la voie.....	19
Signalisation verticale.....	19
Conclusions ? Aller vers une étude de la compréhension de la signalisation.....	20
Conception.....	21
Intégrer le caractère dynamique dès la conception.....	21
En section courante.....	21
Sur la BAU ou l'espace qui y est affecté.....	23
Refuges.....	26
Problématique des échangeurs.....	26
Zones de transitions.....	27
Visibilité.....	27
Éclairage des voies GDV.....	28
Divers	28
Sécurité.....	29
Retours d'évaluations.....	29
BAU.....	30
Comportements.....	31
Vitesse : limitation et différentiel.....	33
Le rôle de la vitesse dans la gestion dynamique des voies.....	33
Limitation de vitesse.....	33
Différentiel de vitesse entre voies de circulation.....	34
Conclusion.....	35
Exploitation et surveillance.....	37
Introduction.....	37
Procédures d'exploitation et de maintenance.....	37

Surveillance.....	38
Transitions temporelles.....	38
Circulation des bus et cars sur voies réservées.....	39
Gestion des catégories particulières de véhicules.....	40
Conclusion.....	42
Compréhension.....	44
Introduction.....	44
Quelques éléments.....	44
Effets pervers des dispositifs.....	45
Acceptabilité – Acceptation.....	46
Généralement positive.....	46
L' « empty lane syndrom ».....	46
Quelques voix négatives.....	47
Conclusions.....	47
Violation.....	48
Introduction.....	48
Éléments de connaissance.....	48
Fraude et contrôle du nombre d'occupants (HOV).....	49
Méthodologie d'évaluation.....	52
Généralités sur l'évaluation des mesures de gestion dynamique des voies.....	52
Évaluation a priori.....	53
Quelques critères simples facteurs de réussite.....	53
Conclusion.....	54
Formation / communication.....	55
Formation des usagers sur voies réservées.....	55
Communication.....	55
Conclusions : manques, besoins et apports de la recherche.....	56
Synthèse conclusive.....	56
Apports de la recherche : besoins et perspectives.....	56
Bibliographie.....	58

Préambule

Ce document s'inscrit dans le cadre de l'action 2 « gestion dynamique de l'espace de circulation et signalisation associée » de l'opération de recherche SERRES (Solutions pour une Exploitation Routière Respectueuse de l'Environnement et de la Sécurité) 2011-2013.

Le périmètre de ce document se limite donc aux mesures de gestion du trafic routier modifiant dans le temps l'emprise de circulation pour tout ou partie d'un sens de circulation donné : voies réversibles, voies auxiliaires, voies réservées dynamiques, affectation dynamique de voies.

Ce document se limite volontairement à la gestion dynamique des voies en milieu périurbain et interurbain. Le cas spécifique de l'urbain n'est pas traité ici.

Introduction

Qu'est-ce que la gestion dynamique des voies (GDV) ?

Le concept de GDV englobe les mesures de gestion dynamique du trafic variables dans le temps (aux heures de pointe) et dans l'espace, avec pour objectif d'améliorer l'écoulement du trafic en optimisant l'utilisation de la plate-forme routière pour tous les véhicules ou pour des catégories particulières (transports collectifs, covoiturage, véhicules propres, taxis,...etc.) et ainsi de retarder voire d'éviter la mise en œuvre d'aménagements lourds (élargissement des infrastructures existantes, voire même réalisation de nouvelles infrastructures).

Il s'agit de l'utilisation de l'espace réservé à la bande d'arrêt d'urgence à certaines heures (voies auxiliaires et voies réservées), de voies réversibles (changement de sens de circulation pour une des voies suivant les heures), de voies supplémentaires (dont les HOV « High Occupancy Vehicles » et les HOT « High occupancy Toll ») ou de l'affectation dynamique des voies pour la circulation générale.

De telles mesures ont été déjà mises en œuvre dans de nombreux pays en Europe (Grande-Bretagne, Pays-Bas, etc), en Australie, Nouvelle Zélande et aux Etats-Unis depuis de nombreuses années. En France, si les premières expérimentations datent des Trente glorieuses (notamment en ce qui concerne les voies réversibles), les opérations de gestion dynamique du trafic restent peu nombreuses et les réalisations emblématiques (tronc commun A4/A86, Voie spécialisée partagée sur A48) ont souvent été confrontées à des difficultés pouvant aller jusqu'à entraîner la suspension de celles-ci.

Contexte de ce document

Ce rapport a été rédigé dans un contexte où plusieurs réflexions étaient engagées concernant la gestion dynamique du trafic en France et en Europe.

Tout d'abord, au début des années 2010, le CERTU a décidé de refondre la doctrine existante sur la conception : l'Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (Ictavru), guide publié en 1990, qui décrivait les règles de l'art pour l'élaboration de projet routier ou autoroutier dans les territoires urbains.

Un des objectifs de la nouvelle instruction était de mieux prendre en compte les enjeux du développement durable et de report multimodal, et les nouvelles fonctions de ces voies en milieu périurbain. Cela s'est traduit par la notion de VSA (voie structurante d'agglomération), au lieu de VRU (voie rapide urbaine).

Les réflexions et l'élaboration des nouveaux référentiels (VSA 70 édité en 2013 et VSA 90-110 édité en 2014) ont mis en évidence la nécessité d'évaluer les réalisations et de capitaliser les retours d'expériences sur la mise en œuvre de dispositifs de GDV et plus globalement des mesures de gestion du trafic, que ce soit en France, mais surtout à l'étranger.

En parallèle de la doctrine sur la conception des VSA, et face aux difficultés rencontrées pour la construction de nouvelles infrastructures ou l'élargissement d'existantes, l'importance de concevoir des voies réservées (VR) à certains modes est apparue. Cela a conforté le besoin de réaliser un cadre technique, réglementaire et juridique fiable pour ces projets de VR.

Le CERTU a tout d'abord réalisé une synthèse bibliographique sur les réalisations de voies réservées en France et à l'étranger pour l'aider dans ses réflexions (CERTU « Les aménagements multimodaux sur les voies rapides urbaines à caractéristiques autoroutières – Etat de l'art et perspectives », 2011).

En outre, la mission de réactualisation du rapport Pollet (qui pour rappel, donne les recommandations de conception et d'exploitation de l'expérimentation de la VR sur l'A48 à Grenoble (appelées mission Robichon) portant sur la doctrine actuelle à suivre pour les projets de voies réservées aux autocars sur autoroutes conclut en 2009-2010 que le manque d'expérimentations françaises ne permet pas de se prononcer sur la définition de nouvelles règles de conception des voies réservées.

Dès 2012, le CERTU engage les réflexions sur la conception et l'exploitation des voies réservées aux transports en commun sur les voies structurantes d'agglomération à 70km/h, 90-110 km/h, avec la volonté de simplifier la conception tout en garantissant la sécurité routière, cela sous-entendant une analyse des sujets suivants : souplesse des dimensions, simplification de la signalisation pour plus de lisibilité, homogénéisation de la limitation de vitesse, caractère permanent ou temporaire de la fonction de la voie réservée, intérêt de la mise en place d'un système DAI, problématique de la couleur de la chaussée de la voie réservée, inter-distance nécessaire entre les refuges, utilité ou non d'un éclairage de la voie réservée, vitesse de la VR, ouverture de la VR à d'autres usagers que les TC...

Un premier dossier sur la conception des voies réservées TC sur VSA a été publié en 2013 par le CERTU mais de nombreuses interrogations demeurent par manque d'expérimentations et de statut juridique.

Par conséquent, le présent rapport a pour objectif de dresser un état de l'art des réalisations en France et à l'étranger des dispositifs de GDV et également d'analyser les manques en termes de méthodes, de doctrines techniques et d'outils et enfin, d'identifier les apports possibles de la recherche sur :

- la compréhension des dispositifs et le comportement de l'utilisateur,
- la réglementation et les recommandations associées,
- l'absence d'évaluation a priori de la compréhension des équipements.

En annexe, figure la liste de tous les documents qui ont servi à la rédaction de ce rapport.

Réglementation

Documents réglementaires français

Code de la route Comme toute mesure agissant sur le trafic, la mise en œuvre d'une mesure de gestion dynamique des voies est soumise au Code de la route. Cependant, celui-ci, et malgré les révisions dont il a pu faire l'objet, reste peu prolixe à cet égard. Les rares éléments utiles pour une opération de gestion dynamique des voies portent notamment sur l'article R412-7 qui précise qu'une voie peut être réservée à certaines catégories de véhicules, et est de fait interdite pour les autres véhicules.

Le cas de la bande d'arrêt d'urgence, considéré par l'article R412-8, est précisé ci-après.

Ce manque d'éléments ne favorisent pas la mise en œuvre de mesures de gestion dynamique des voies.

Par ailleurs, bien que le cas a été réglé depuis, dans le rapport du CGEDD de 2011 relatif à la mise en œuvre d'une voie de covoiturage sur la rocade de Bordeaux, les auteurs notent d'ailleurs la nécessité de définir dans la réglementation la notion de covoiturage avant la mise en service d'une voie qui y serait dédiée (Deffayet et Pitié, 2011), qu'elle soit dynamique ou non (cf. chapitre suivant par rapport à cette définition).

Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière

L'Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière (IISR), créée en 1963, réglemente la signalisation à mettre en œuvre avec les conditions et les règles d'implantation. Autrement dit, tout ce qui déroge à ce texte doit faire l'objet d'une demande d'expérimentation avec obligation de suivi de la part du gestionnaire.

L'IISR a récemment fait peau neuve avec l'ajout fin 2011 d'une neuvième partie « Signalisation dynamique ». Cette partie vient combler un manque présent depuis la mise en œuvre des premières mesures de gestion dynamique du trafic.

Plus précisément, l'article 175 indique les équipements et la signalisation à déployer pour une mesure d'affectation variable des voies.

Néanmoins, la neuvième partie n'est pas suffisante en soi et pose quelques difficultés.

Tout d'abord, la neuvième partie n'impacte que la signalisation. Ainsi, une signalisation innovante sera soumise à demande d'expérimentation, ce qui ne sera pas le cas d'un mode d'exploitation innovant (CERTU-CETE, 2013). Par exemple, le dispositif de voie réversible sur le Pont d'Aquitaine, n'utilisant seulement que des feux d'affectation de voie prévus par l'IISR, n'avait pas besoin de demande d'expérimentation pour être mis en œuvre. A contrario, la voie réversible sur le Pont de St-Nazaire, pour laquelle la sécurité a été renforcée avec l'ajout d'équipements non réglementaires (comme les plots lumineux) a dû faire l'objet d'une demande d'expérimentation. Au final, le second dispositif – dont l'évaluation est disponible dans (Bernard et Louah, 2012) – semble cependant plus sécuritaire que le premier, bien que non réglementaire.

Ensuite, l'IISR ne résout pas tous les cas, le plus flagrant étant celui du covoiturage qui n'est pas discuté dans le document (CERTU-CETE, 2013).

Aussi, l'IISR reste encore à compléter et à améliorer notamment sur les aspects des équipements et de la signalisation pour permettre un déploiement cohérent et sécuritaire de mesures de gestion dynamique des voies.

Conclusion La réglementation française fait l'objet petit à petit de révisions pour mieux inclure les problématiques liées à la mise en œuvre de mesures de gestion dynamique des voies. Cependant, la réglementation actuelle est loin d'être suffisante et pose encore aujourd'hui un certain nombre de difficultés notamment liées au caractère dynamique de ce type de mesures.

Hormis les difficultés indiquées ci-avant, des questions restent en suspens :

- rapport entre signalisation fixe et signalisation variable, déjà cité par (CERTU, 2009). Si la neuvième partie de l'IISR indique une prédominance de la signalisation variable sur la signalisation fixe pour la vitesse réglementaire, il n'en est rien concernant les autres informations, recommandations ou obligations dynamiques,
- signalisation des aménagements multimodaux (CERTU, juillet 2011). Malgré la volonté de déployer des mesures de gestion multimodale et dynamique des voies, cette question n'a aujourd'hui encore que trop peu de réponses comme le montre l'aménagement de la Voie Spécialisée Partagée de Grenoble et les modifications de signalisation sur l'aménagement effectuées en 2014, soit 7 ans après mise en service (désactivation des feux d'affectation de voie).

Comme l'indique Helleman (2008), il conviendrait de se doter d'une réglementation réellement adaptée au caractère dynamique de ce type de mesures car la réglementation « traditionnelle » n'est selon lui pas compatible avec la gestion dynamique des voies, ne serait-ce que pour une bonne compréhension et une bonne acceptabilité des mesures par les usagers.

Devant ce constat, il convient cependant de préciser que l'administration centrale a récemment mis sur la table des sujets tels que :

- la définition de la notion de « temporaire » dans le Code de la route,
- la définition exacte des fonctions des voies réservées, notamment par rapport à l'autorisation ou l'interdiction de l'arrêt,
- le statut de la BAU.

Réglementation de mesures spécifiques

Deux mesures de gestion dynamique des voies posent davantage de difficultés que les autres. Ces mesures sont :

- les voies réservées au covoiturage, que les voies soient statiques ou dynamiques,
- l'ouverture de l'espace affecté à la bande d'arrêt d'urgence (BAU) à la circulation de tout ou partie des usagers. A noter que cet intitulé lui-même fait débat, la BAU étant réglementairement interdite à la circulation.

Voies réservées au covoiturage

Il convient tout d'abord de noter que la notion de covoiturage n'a été que récemment définie sur le plan réglementaire, et ce dans la loi sur la Modernisation de l'Action Publique territoriale et d'Affirmation des Métropoles (MAPAM) du 27 janvier 2014.

L'article 52 de cette loi précise que « le covoiturage est l'utilisation en commun d'un véhicule terrestre à moteur par un conducteur non professionnel et un ou plusieurs passagers majeurs pour un trajet commun ». L'article précise également

qu'en cas d'offre privée inexistante, insuffisante ou inadaptée, les autorités compétentes peuvent mettre à disposition du public une plate-forme dématérialisée pour faciliter la rencontre entre offre et demande de covoiturage.

Pour circuler dans une voie réservée au covoiturage, cette définition impose donc un nombre de passagers majeurs présents dans le véhicule. Ce point peut poser problème pour contrôler le respect de l'utilisation de la voie réservée (cf. paragraphe sur le contrôle-sanction).

Cette notion de voie réservée au covoiturage souffre encore aujourd'hui de manques sur le plan réglementaire et législatif :

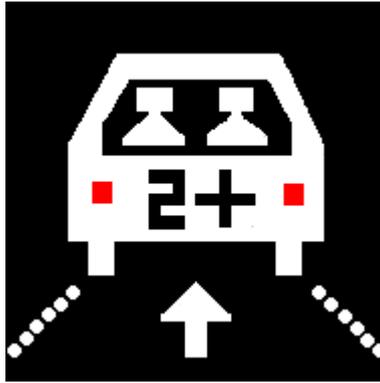
- manques réglementaires sur la possibilité de réserver des voies aux véhicules en covoiturage. Le Code de la route comme l'Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière ne précisent en effet rien à ce sujet.
- manques sur la signalisation : aucune signalisation du covoiturage n'est encore aujourd'hui reconnue en France, tant sur le stationnement (aires de covoiturage) que sur la réservation de voies. A l'étranger, ces panneaux sont souvent aujourd'hui bien définis (cf. images ci-dessous).

Cependant, comme le note le CERTU dans le guide sur l'aménagement des voies réservées, « même si aujourd'hui le statut de covoiturage n'est pas encore inscrit dans le Code de la route, il est très important d'anticiper ces besoins, car leur impact sur la conception de l'infrastructure pourra être conséquent. » (CERTU, 2013).



*Marquage et panneau (à droite)
covoiturage en Norvège*





*Panneau "E21" proposé
pour la signalisation d'une
voie de covoiturage
dynamique*

Circulation sur bande d'arrêt d'urgence

L'article R412-8 du Code de la route stipule que la bande d'arrêt d'urgence (BAU) est interdite à la circulation générale mais autorisée à certains véhicules d'urgence et d'exploitation. De plus, l'article R412-22 précise que le franchissement du marquage n'est possible « qu'en cas de nécessité absolue ».

Aussi est-il impropre de parler de circulation sur la bande d'arrêt d'urgence, même si la circulation générale y est temporaire (communément appelé voie auxiliaire) ou si elle est réservée uniquement à certains modes de transport à une période de la journée.

Cependant, comme le rappellent (CERTU, 2009 et CERTU, 2012), la BAU n'est pas obligatoire sur les VSA. Aussi, la mise en œuvre d'une circulation temporaire sur cet espace remplissant une fonction d'arrêt d'urgence hors heures de pointe ou en cas de nécessité reste envisageable du point de vue réglementaire.

Pour l'instant, il n'existe pas de statut clairement établi définissant une voie assurant une fonction double comme celles de BAU et de circulation temporaire (de tous ou d'une partie des usagers). Or, ce statut est indispensable pour un déploiement harmonisé et bien compréhensible par l'ensemble des usagers. Il permettra également de décrire les différences entre une BAU « classique » et une voie type VR ou VA assurant une double fonction.

Comparaison de la réglementation avec l'étranger

A l'étranger, la mise en œuvre de mesures de gestion dynamique de l'espace de circulation a pu s'accompagner de modifications réglementaires.

C'est ainsi le cas pour des mesures de circulation générale sur des voies ayant une fonction de bande d'arrêt d'urgence :

- en Allemagne, l'équivalent du Code de la route a été modifié pour autoriser la circulation sur une voie assurant une fonction de BAU dès les premiers déploiements en 2002. Cette modification précise les vitesses maximales réglementaires qui s'appliquent.
- Au Royaume-Uni, les mêmes modifications ont été prises pour permettre l'utilisation de la BAU comme voie de circulation temporaire sur la M42 (CERTU, à paraître, b).
- Aux Pays-Bas, suite à l'évaluation de différentes expérimentations, un amendement à la réglementation a été réalisé pour la signalisation de l'état de la voie de circulation temporaire sur l'espace de bande d'arrêt d'urgence

(Helleman et Hernandez, 2008).

Concernant le covoiturage, le titre 23 du United States Code américain précise les éléments réglementaires à respecter pour la mise en œuvre d'une voie de covoiturage. Ce titre précise également les véhicules autorisés à emprunter les voies de covoiturage bien que ne respectant pas le nombre minimal de passagers, comme les véhicules électriques (FHWA, 2008b).



Espagne : marquage réglementaire d'une voie réversible (également décrit dans la Convention de Vienne, mais non repris en France) (CERTU, 2009)

Le contrôle-sanction et la réglementation

Selon (Parsons Brinckerhoff, 2010), il est nécessaire de prévoir des plans de contrôle des dispositifs mis en œuvre sous peine d'échec de la mesure.

Concernant la vitesse – pouvant être dynamique dans le cas d'une mesure de gestion dynamique des voies –, la réglementation française permet aujourd'hui le contrôle de la vitesse en un point donné, ainsi que de la vitesse moyenne sur un tronçon, mais les contrôles automatiques ne sont possibles que pour une seule vitesse donnée. Le contrôle automatique des vitesses dynamiques reste difficile car il nécessite d'apporter la preuve de la vitesse maximale effective au moment du contrôle de celle pratiquée par l'utilisateur.

Concernant la présence d'un véhicule sur une voie temporairement fermée à la circulation, que ce soit pour une circulation temporaire sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence ou pour une voie réversible, il n'existe a priori pas encore aujourd'hui de dispositif réglementaire, ni a fortiori de dispositif en service. Le Conseil général de Loire-Atlantique a indiqué être intéressé par un dispositif de contrôle-sanction pour des usagers empruntant la voie réversible du Pont de St-Nazaire alors qu'ils n'y sont pas autorisés.

Concernant le contrôle de l'usage sur les voies affectées à certaines catégories, la mise en place de la voie réservée aux bus et aux taxis sur A1 a montré toute la difficulté de vérifier si un véhicule circulant dans cette voie était effectivement un taxi. Une étape préliminaire au contrôle a été la constitution d'une base de données des plaques d'immatriculation de taxis et des transports collectifs autorisés à circuler sur la VR.

Concernant le covoiturage, le contrôle-sanction automatisé se heurte à la

problématique du comptage du nombre de passagers à bord d'un véhicule (CERTU, à paraître, a), ainsi que de savoir si les passagers sont majeurs ou non. En Espagne, sur la voie bus/covoiturage (bus/VAO) de l'A6, les contrôles sont effectués physiquement par les forces de police. En France, un site d'essai de dispositif de comptage du nombre de passagers devrait être prochainement mis en place au niveau de la plateforme douanière de Jougne (Doubs).

Enfin, autre difficulté signalée par (CERTU, 2012), le niveau des amendes reste peu élevé en France. L'article R412-7 précise qu'une infraction à l'usage d'une voie réservée est passible d'une amende de quatrième classe (soit 135 €). Aux États-Unis, le montant de telles amendes peut dépasser 200 dollars. En France, la circulation sur bande d'arrêt d'urgence est quant à elle passible d'une amende de deuxième classe, soit 35 €.

Conclusions

Des modifications réglementaires apparaissent nécessaires pour la mise en œuvre de mesures de gestion dynamique des voies : la réglementation française est en effet aujourd'hui imparfaite, notamment en ce qui concerne la mise en œuvre de voies de covoiturage ou de circulation dynamique sur une voie faisant fonction de BAU.

Les modifications effectuées à l'étranger montrent cependant qu'amender le Code de la route pour mieux prendre en compte les problématiques de la gestion dynamique des voies tout en garantissant la sécurité des usagers est tout à fait envisageable.

Étant pourtant un élément nécessaire pour garantir l'efficacité d'une mesure de gestion dynamique des voies, le contrôle-sanction est encore peu déployé, notamment pour vérifier qu'un véhicule est bien autorisé à emprunter la voie dynamique au moment où il le fait.

Doctrine technique – Normalisation

Doctrine technique française

La doctrine technique française relative à la gestion dynamique des voies est quasiment inexistante. Cette absence se traduit d'ailleurs par une hétérogénéité dans le déploiement de mesures d'une même famille.

Ainsi, la circulation temporaire des transports collectifs sur l'espace de la BAU peut avoir des exploitations et équipements très variés : exploitation activée par l'exploitant routier, avec une aide à la décision, automatisation complète de l'activation avec un contrôle de l'exploitant routier, ou une part d'autonomie donnée aux véhicules sur la VR. Par exemple, la circulation des TC de l'A48 à Grenoble a des règles précises et se fait à l'aide de nombreux équipements (PMV, feux R24 « BUS », caméras...) et d'une signalisation dynamique spécifique (panneau B0, limitation de vitesse dynamique...) alors que la circulation des TC sur l'espace de la BAU de l'A10 est exploitée et activée sans aucun équipement particulier et avec une signalisation statique minimaliste et sans gestion dynamique des voies.

Le dossier « Voies réservées sur VSA » (CERTU-CETE, 2013), document français le plus abouti après le rapport « Gestion dynamique des voies (CERTU, 2009a), ne se qualifie d'ailleurs que de « dossier technique, car il n'est pas, en l'état actuel de la connaissance, un guide technique de conception ». Il émet néanmoins quelques recommandations et donne des pistes pour la conception et l'exploitation des voies réservées.

En fait, la source de la doctrine française pour les voies réservées au transport en commun sur l'espace de la BAU reste encore le rapport « Pollet » (Pollet et al, 2005). Pour émettre ses recommandations, ce rapport se base notamment sur la doctrine hollandaise et les expériences menées il y a plus d'une dizaine d'années (CERTU, 2012) pour préciser les conditions sous lesquelles l'espace dédiée à la BAU peut être ouvert à la circulation des transports en commun.

Le rapport d'étape du CGEDD sur la faisabilité de la réservation de voies pour les véhicules en covoiturage à Bordeaux (Deffayet et Pitié, 2011) avait initié la réflexion pour l'élaboration d'une doctrine pour le déploiement de mesures de ce type, mais cette réflexion n'a finalement pas abouti.

Normalisation

Dans le domaine de la gestion dynamique des voies, la normalisation, qu'elle soit technique ou de langage, n'existe pas (CERTU, 2009). Ainsi, chaque projet a pour l'instant sa dénomination propre, que ce soit la « Voie Spécialisée Partagée » sur A48, la « voie taxi » sur A1... Le dossier « Voies réservées sur VSA » (CERTU-CETE, 2013) permet néanmoins de standardiser le langage pour les voies réservées, qu'elles soient permanentes ou dynamiques et sur l'espace de la BAU ou non.

Parangonnage de la doctrine à l'étranger

A l'étranger, la doctrine technique est un peu plus fournie. Ainsi, aux Etats-Unis, le Texas "Interim Report" pour la gestion dynamique des voies donne des critères sur la base de retours d'expériences pour une implémentation efficace de ce type de mesures (Levecq et al, 2011). Un autre document américain notable est le « Managed Lanes Handbook », fruit d'un travail de recherche de cinq ans (Kuhn et al, 2005). Il donne quelques éléments pour la réussite d'un projet de gestion dynamique des voies. Enfin, dans le domaine des voies réservées, les Etats-Unis disposent de plusieurs documents de recommandations qui s'appliquent parfois au niveau d'un seul Etat. Parmi ces documents, on peut citer :

-
- un guide texan sur l'implémentation de voies réservées aux transports en commun sur l'espace BAU (Martin et al, 2012),
 - un guide de la FHWA à l'attention des gestionnaires autoroutiers locaux pour l'implémentation de voies réservées au covoiturage (FHWA, 2008b),
 - un guide sur la mise en œuvre de voies dynamiques payantes (Perez et al, 2012).

En Europe, des guides existent comme en Allemagne, en Suisse sur la conversion de la bande d'arrêt d'urgence en voie de circulation (OFROU, 2007), aux Pays-Bas pour la mise en œuvre de voies réservées aux transports en commun sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence (comme indiqué plus haut, ce sont d'ailleurs ces recommandations qui ont servi de base au rapport Pollet français) (Rijkswaterstaat, 1991).

Sur la base des expériences en cours dans le pays, le Royaume-Uni construit également petit à petit sa doctrine technique en matière de gestion dynamique des voies. Comme le prouvent les documents ci-dessous, ce sont néanmoins pour l'instant simplement des conseils qui sont donnés à l'attention des concepteurs et des gestionnaires de réseaux :

- note de conseils sur l'ouverture de l'espace BAU à la circulation (Highways Agency, 2009),
- note de conseils sur la circulation sur l'ensemble des voies (Highways Agency, 2013) avec utilisation de panneaux dynamiques.

Enfin, il convient de noter le développement d'une doctrine européenne dans le cadre du projet EasyWay (2007-2012). Ce projet a permis l'élaboration de « guidelines » ou recommandations pour la mise en œuvre de services routiers ou multimodaux à l'utilisateur, comme des mesures de gestion dynamique du trafic. Ainsi, les guidelines sur l'affectation variable des voies (« Dynamic lane management » (EasyWay, 2012a)) et celle sur la circulation sur bande d'arrêt d'urgence (« Hard shoulder running » (EasyWay, 2012b)) sont les deux principaux documents qui concernent les mesures de gestion dynamique des voies.

Néanmoins, ces documents consensuels à l'échelle de l'Union Européenne restent très généraux et n'ont pas vocation à contraindre ni les autorités ni les gestionnaires de réseaux. Les recommandations qui y sont effectuées sont donc très simplistes. De plus, le guideline sur la circulation sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence est dédié à la voie auxiliaire tous usagers et n'aborde pas la question de la réservation de cet espace à une seule catégorie de véhicules comme les transports en commun.

Conclusions

Au vu de l'état d'avancement de la doctrine technique française dans le domaine de la gestion dynamique des voies, il apparaît indispensable de la compléter pour un déploiement harmonisé et afin de garantir l'efficacité et la sécurité des aménagements. Cette doctrine technique permettrait sûrement également de limiter les coûts d'investissements, de fonctionnement et de maintenance des déploiements et des projets de gestion dynamique des voies en s'en tenant au strict nécessaire en matière d'équipements et de signalisation. Ainsi, des recommandations ou des guides sur l'ouverture de l'espace faisant fonction de bande d'arrêt d'urgence à la circulation ou sur la mise en œuvre de voies réversibles s'avèrent pertinents.

De plus, si les documents de cadrage et les recommandations n'ont pas beaucoup évolué depuis une dizaine d'année en France – à l'exception notable du dossier « Voies réservées sur VSA » (CERTU-CETE, 2013) – les moyens d'information de l'utilisateur, de gestion du trafic, de contrôle et de surveillance se sont quant à eux considérablement développés. Il est dès lors nécessaire de remettre en phase la doctrine avec ces moyens disponibles et qui permettent d'informer en temps réel l'utilisateur sur l'ouverture, la fermeture ou la réservation d'une voie dynamique.

De plus, le parangonnage montre le retard de la doctrine technique française dans le domaine de la gestion dynamique des voies : des pays comme le Royaume-Uni, les États-Unis, ou encore la Suisse, disposent de cadres et de documents de recommandations aboutis. Cela leur permet d'envisager des répliques d'expériences réussies ou de nouveaux déploiements en adéquation avec les objectifs fixés (efficacité, optimisation des réseaux y compris de transports en commun et sécurité).

Équipements

Problématique

Après avoir défini les objectifs d'une opération de GDV, analysé la rentabilité a priori du projet et l'impact sur l'écoulement de tous les trafics, il convient de définir le projet à mettre en place et en particulier les équipements dynamiques. En effet, il est nécessaire d'élaborer un projet compréhensible par tous les usagers et sûr, en implantant les équipements strictement nécessaires et en analysant les besoins en contrôle et la connexion avec un PC (caméras, DAI, radars...).

Comme le rappelle (Belloche, 2011), lors de la définition de la nature des équipements dynamiques et de leur nombre, il est également primordial de bien prendre en compte les difficultés liées à la maintenance et les coûts associés.

Les différents équipements routiers et les problèmes rencontrés

La littérature porte peu sur l'implantation des panneaux à message variables (PMV), que ceux-ci aient pour objectif l'information sur l'état du dispositif de gestion dynamique ou l'information sur un événement impactant le dispositif de gestion dynamique.

En Ile-de-France, dans le cadre du projet de voie auxiliaire sur l'A4 – A86, la Direction des routes d'Ile de France a fait développer un prototype de glissière mobile amovible (GMA) afin d'interdire l'accès à la BAU quand la voie n'est pas activée. Le rapport GDV du CERTU (2009) alerte sur le coût de ce dispositif, ainsi que sur les difficultés de maintenance. Comme l'indique (Besnard, 2012), il est nécessaire d'enlever fréquemment les détritiques pour que ces glissières continuent à se déployer.

Dans le même genre, les biseaux de rabattement amovibles (BRA) mis en place sur l'aménagement du tronçon commun A3/A86 sont trop fragiles selon (DGR-DSCR, 2006).

En conclusion, les BRA et GMA ne sont pas une bonne réponse pour neutraliser une voie en raison de leur coût trop élevé et de leur fragilité (CERTU, 2012). Cependant, les BRA utilisés sur la voie réversible du pont de St-Nazaire n'ont quasiment pas été heurtés, pour la grande satisfaction du gestionnaire routier.

En 2010, Kuhn dresse le constat que le système d'affectation des voies (SAV dénommé R21 dans la réglementation) était très utilisé en Europe et que les principales règles d'implantation étaient quasiment identiques, à savoir le fléchage de l'ensemble des voies, et le rabattement d'une voie à la fois. Ce constat a été confirmé par le CERTU (2012). Comme le précise (Highways Agency, 2009), sur la M42, les SAV (croix rouge) sont complétés avec 4 feux flashes. Une évaluation auprès des usagers montrent que ce système est compris par 92 à 93 % des personnes, mais que 15 à 20 % des usagers se posent la question de la signification quand les 4 feux flashes sont allumés (évaluation a priori M42, Mott MacDonald, 2004).

Toutefois, la question de l'interdistance de ces SAV demeure comme le rappellent deux documents :

- 500 m sur A1 en Suisse (RGR, 2012)
- (Jones et al, 2011), citant des variations entre pays : 600 m aux Pays-Bas pour la circulation générale sur BAU.

En France, l'IISR insiste surtout sur la règle de visibilité d'au moins un signal en aval. L'interdistance entre deux signaux est dès lors plutôt de 200 m.

Les plots dynamiques lumineux avec couleur sont parfois utilisés dans les dispositifs de GDV, comme à Hanovre et en Espagne (Cadix et Séville). Toutefois, leur utilisation n'est pas réglementée en France (rapport GDV, 2009) et pourrait être intégrée dans la réglementation comme marquage infranchissable quand la couleur rouge est employée (CERTU, 2013). Cette couleur a, en effet, été retenue sur la voie réversible de St-Nazaire pour symboliser l'interdiction de franchissement liée au signal donné (Caillabet et al, 2010). Cependant, ces plots, dispositif innovant dans le cas de St-Nazaire, ont entraîné un problème de maintenance (étanchéité), qui a nécessité leur changement complet avec un nouveau dispositif (CETE de l'Ouest, 2012).

Des équipements non dynamiques tels que les signaux au sol (KD10), des cônes (K5a), des séparateurs modulaires de voies, des FLR (flèches lumineuses de rabattement) peuvent également être mis en place pour séparer des voies. Cependant, ces cônes nécessitent une intervention humaine pour être déployés, puis déplacés en fonction des trafics (DGR, 2006). De plus, ils sont chers en maintenance, car fréquemment heurtés.

Conclusions

Les équipements utilisables pour la gestion dynamique des voies sont nombreux et hétérogènes. Si certains comme les glissières mobile d'affectation apparaissent difficiles à mettre en œuvre et à maintenir, d'autres sont au contraire beaucoup plus adaptés pour diffuser un message dynamique à moindre coût, que ces équipements soient innovants ou plus classiques. Cette dichotomie est évidente, mais il reste cependant difficile de classer les plots lumineux dans l'une ou l'autre de ces catégories étant donné qu'ils restent méconnus et encore peu utilisés.

La problématique liée aux équipements n'est donc peut-être pas liée à l'équipement en lui-même, mais plutôt au séquençement : quelle interdistance pour maximiser à la fois les coûts, la sécurité et l'efficacité du dispositif ? Et, plus largement, quelle interaction temporelle ou quel séquençement entre deux équipements espacés de plusieurs centaines de mètres dans un dispositif dynamique ?

Signalisation

Points problématiques

Selon (FHWA, 2008), le point critique d'un projet de GDV est la définition de la signalisation et l'information des usagers. Le manuel FHWA 2009 a standardisé la signalisation et le marquage pour les voies "préférentielles", "express", ainsi que pour les voies réversibles, aux Etats-Unis.

En France, la signalisation adaptée (aujourd'hui des panneaux expérimentaux) (GDV,2009), et les pictogrammes indiquant le covoiturage, la circulation des taxis et plus globalement les "catégories de véhicules autorisées" ne sont pas encore définis réglementairement. En effet, il manque des "éléments de signalisation permettant à l'aide d'un signal simple d'indiquer à l'utilisateur qu'un mode d'exploitation particulier est en cours" (GDV, 2009). Par exemple, pour permettre une meilleure lisibilité du principe de voie réservée, l'appellation et le logo afférent doivent être simplifiés et standardisés (CERTU Aménagements multimodaux, 2011).

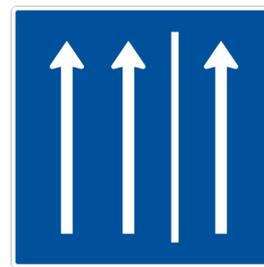
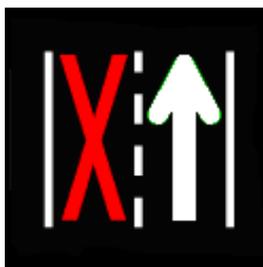
Le dossier « Voies réservées sur VSA » (CERTU-CETE, 2013) conseille d'utiliser la signalisation de prescription (panneau B27a et B45 : réservé aux autobus de transports en commun) à compléter des panonceaux M3 directionnel, M4 catégorie de véhicule et M9 autres catégories pour les voies réservées. Il est rappelé l'importance d'éviter la multiplication de panonceaux.

Pour définir sa signalisation, la France pourrait également utiliser la signalisation de la Convention de Vienne (1968) et la résolution de 1995 sur les signes et signaux incorporant différents pictogrammes (E19 et E20 pour la circulation temporaire sur l'espace de la BAU (cf ci-dessous) et E21 présenté ci-avant pour le covoiturage...). Cependant, cette partie de la convention n'a pas été ratifiée par la France, ce qui serait nécessaire pour permettre une homogénéisation des pratiques et une meilleure compréhension de l'utilisateur au niveau européen (EasyWay 2012b).

Concernant la séquence de signalisation, le programme européen Easyway donne des recommandations dans ses différents guidelines concernant les mesures de GDV. Ainsi, l'information sur l'ouverture ou non de la voie auxiliaire est à fournir de façon à ce que l'utilisateur l'ait toujours en vision directe tout au long de la section régulée (EasyWay, 2012b). Cependant, différentes approches de signalisation existent, mais il n'est pas évident de conclure que l'une soit meilleure que les autres (EasyWay, 2012b). Toutefois, les schémas proposés ne sont pas en cohérence avec la réglementation française (en supposant que la voie auxiliaire soit réglementaire).

Sur M42, après la mise en service de la voie auxiliaire, une évaluation de la compréhension de la signalisation par les usagers est souhaitée afin de faire évoluer éventuellement la signalisation (TTR, 2007).

Des évaluations devraient être systématiquement réalisées pour toutes les mesures de GDV afin de compléter et de consolider les doctrines techniques.



Marquage

Pour signaler les voies réservées aux transports en commun et les voies auxiliaires, le marquage utilisé pour délimiter cette voie à la voie « classique » est identique à celui de la BAU, en Allemagne et au Royaume-Uni par exemple (CERTU, 2012).

Pour les voies réservées, un marquage spécifique peut être implanté sur cette voie comme le "2+" pour les voies de covoiturage, le diamond, qui n'est cependant pas présent partout pour les voies réservées TC aux USA (Kuhn, 2010), mais également des "watch for buses on shoulder", ou "transit lane authorized buses only" (Kuhn, 2010).



A diamond lane on US 290 from Eldridge Parkway to Skinner Road, in Houston. Le CERTU (2012) a proposé d'adopter des pictogrammes uniquement sur la signalisation verticale et non au sol, et d'adapter dans la réglementation (Instruction Interministérielle de la signalisation routière) le marquage en damier qui sert habituellement à signaler un franchissement de voie réservée TC pour marquer le début ou la fin de la VR.

Dans le dossier « Voies réservées sur VSA » (CERTU, 2013), le marquage proposé pour séparer une voie réservée de la circulation générale est composé d'une ligne blanche discontinue de type T3-5u. Ce marquage peut être renforcé par des plots lumineux ou des protubérances pour des voies réservées permanentes ou temporaires.

Pour identifier les véhicules autorisés, le pictogramme « BUS » peut être disposé en début de voies réservées et répété mais cela n'est pas obligatoire et ne concerne que les voies réservées permanentes.

Lors de l'élaboration du projet de voie auxiliaire en Suisse sur A1, le marquage a

été un sujet de discussion sensible et son "influence sera regardée afin de décider s'il est nécessaire d'introduire un marquage particulier" (Maillard, 2010). Cependant, faute d'expérience, la Suisse a opté pour le même marquage qu'en Allemagne, à savoir une ligne continue (OFROU, 2007). Il a été relevé que les changements de voie les plus faibles sont ceux entre la voie de droite et la voie auxiliaire pour ce projet (seulement 4 % soit environ 60 véh/h) (RGR, 2012). Pour augmenter l'utilisation de la voie auxiliaire, une campagne de communication sur l'autorisation de franchissement de la ligne continue a été menée. De plus, quand un message est affiché sur PMV, le taux d'utilisation de la voie auxiliaire augmente significativement, notamment le week-end (RGR, 2012). Enfin, le marquage aux échangeurs et sections courantes des voies auxiliaires est à mettre en cohérence avec celui utilisé lorsqu'il n'y a pas de voie auxiliaire (EasyWay, 2012b). Ainsi, en Allemagne, le marquage est adapté au niveau des échangeurs selon que la circulation sur BAU est autorisée ou non après l'échangeur (Kuhn, 2010). Une signalisation directionnelle à prisme est également implantée pour assurer une plus grande cohérence. En France, aucun marquage horizontal pour l'allocation dynamique de voie n'est homologué (Leiser et Bonet, 2012).

La convention de Vienne précise le marquage horizontal pour les voies réversibles, à savoir une double ligne discontinue accompagnée d'une flèche double (GDV 2009) (cf photo au paragraphe sur la réglementation). La France n'a semble-t-il pas ratifié cette partie de la convention. Aux USA, le marquage réglementaire pour ces voies est également une ligne discontinue (Wolshon et Lambert, 2006).

Pour les voies auxiliaires, il semblerait qu'il n'y ait aucune réglementation sur le marquage en France.

Signalisation lumineuse horizontale

Un balisage lumineux a été testé aux Pays-Bas dès 2000 pour permettre une modulation du nombre de voies (GDV, 2009). Cependant, ce système risque de ne pas être opérationnel avant un certain nombre d'années (FHWA, 2007). En effet, il paraît très prometteur (Nearctis D7, 2010), mais le dispositif apparaît fragile (Van der Aa, 2000). De plus, on peut craindre un coût d'exploitation important (CERTU Aménagements multimodaux, 2011).

Coloration de la voie

Le CERTU (GDV, 2009 - Aménagements multimodaux, 2011) s'interrogeait sur l'intérêt de colorer la partie dynamique, pour la différencier des autres voies. Ainsi, en Angleterre, la voie réservée TC est d'une autre couleur sur la M4 (Dixon et Alexander, 2005), ou en France, sur l'A48, à Grenoble.

Le CERTU dans son dossier « Voies réservées sur VSA » (2013) indique que cette coloration n'était pas obligatoire.

Signalisation verticale

La convention de Vienne comprend des pictogrammes suivants qui peuvent être utilisés pour les mesures de GDV, comme les E19, E20 et E21 présentés préalablement.

Cependant, ces pictogrammes n'ont pas été intégrés dans l'IISR.

Le panneau A9x "croisement avec voie réservée bus prioritaire" proposé dans la convention de Vienne peut être également implanté (CERTU-CETE, 2013).

Le panneau B0 (« interdiction de la circulation des véhicules ») a été mis en place sur les voies réservées de l'A48, près de Grenoble, et sur l'A1 en Ile de France

(CERTU-CETE, 2013).

Sur l'A10, la vitesse a été limitée à 50 km/h, uniquement sur la BAU, ce qui a nécessité une dérogation à la 4ème partie de l'IISR, comme l'indique (Besnard, 2012b).

Selon (Cohen et al, 2008), des panneaux d'expérimentation spécifiques doivent être implantés de part et d'autre de la zone faisant l'objet d'une mesure de GDV pour informer les usagers sur la nature de l'exploitation de la voie ; ces panneaux nécessitent une dérogation accordée par la DSCR.

Conclusions ? Aller vers une étude de la compréhension de la signalisation

Peu d'études sont lancées sur la compréhension de la signalisation par les usagers. Une enquête menée auprès des conducteurs de bus aux USA rapporte qu'ils sont moyennement à plutôt satisfaits de la signalisation (sommaire) mise en place (Martin et al, 2012). Sur M42, une étude porte sur la compréhension d'un PMV sur haut-mât indiquant aux usagers les voies ouvertes et la limitation de vitesse, dispositif qui semble plus rapidement compris que la signalisation existante. Cependant, ce constat est à relativiser, car avec une vitesse indiquée sur haut mât, les cobayes pratiquent apparemment une vitesse plus élevée d'environ 2 mph quand on leur demande de "rouler pressé" (Boddington et al, 2011).

Le CERTU indique qu'il n'y a pas d'analyse assez poussée sur la bonne compréhension de la signalisation (2012) et que la signalisation d'une voie réservée à certains usagers et également d'une voie auxiliaire doit être "comprise aisément de tous" (CERTU-CETE, 2013), sauf qu'il n'y a pas d'éléments de compréhension connus. Pour une voie réservée aux transports en commun, en revanche, il n'y aurait pas besoin que la signalisation soit comprise de tous car les chauffeurs empruntant la voie sont des professionnels formés pour cela.

Un besoin de recherche a été également identifié par (Jones et al, 2011) concernant la signalisation et le marquage pour l'implémentation de voies auxiliaires aux USA.

En conclusion, des recherches doivent être menées pour analyser la compréhension des usagers en fonction de la signalisation et des équipements implantés afin d'arrêter une doctrine pour la réalisation de dispositifs de GDV. Il serait également intéressant de tester une simplification de la signalisation et du nombre d'équipements pour des dispositifs de GDV déjà mis en service.

Conception

Intégrer le caractère dynamique dès la conception

Historiquement, les infrastructures routières étaient dimensionnées pour absorber la demande de trafic aux heures de pointe. Hors, les capacités d'écoulement des infrastructures, et plus particulièrement des VSA en milieu péri-urbain, sont maintenant insuffisantes au regard des trafics croissants et des hyper-pics de congestion. Il apparaît nécessaire d'utiliser la régulation dynamique des trafics (SETRA, 2012) pour adapter ponctuellement la demande de trafic au contexte et non plus concevoir une infrastructure par rapport à l'hyper-pointe.

Le défi de la conception moderne est la flexibilité de l'aménagement avec l'atteinte du point critique à partir duquel il faut prévoir un changement dans l'écoulement du trafic (FHWA, 2008).

Cela sous-entend la nécessité d'intégrer la possibilité de gestion dynamique des voies (GDV) dès la conception globale d'une infrastructure nouvelle. Cela vaut de même lors d'une requalification de VSA (CERTU, 2009).

Le CERTU rappelle l'importance de la GDV dans le dossier de conception des voies réservées sur VSA (2013), la mise en place d'une gestion dynamique des voies et des trafics sur VSA permettant de régulariser le comportement des usagers par l'abaissement général de la vitesse limite, par un contrôle de la demande aux entrées et par une optimisation des sorties sur les voiries rattachées. La GDV permet de limiter la saturation des trafics sur voirie mais aussi permet de donner les autorisations de circulation sur une voie réservée aux véhicules autorisés.

Au regard des contraintes de coûts et de maintenance liés aux équipements, le recours à la signalisation dynamique ne doit s'envisager que si la solution statique apparaît insuffisante ou inadaptée. Néanmoins, il est important de prévoir cette possibilité de GDV dès la conception.

On retrouve également ce changement de philosophie dans la conception en Europe (P-Bas, UK et Allemagne) : considérer le caractère dynamique dès la conception, plutôt que de définir des critères à mettre en œuvre sur une infrastructure "statique" (Jones et al, 2011), cela en vue de prévenir le risque et concevoir des infrastructures sûres.

En section courante

En termes de conception, la GDV n'impose pas un aménagement spécifique avec des règles de conception différentes des recommandations classiques des guides ICTAAL et VSA 90-110. Pour la mise en œuvre de la GDV, il convient de se référer aux ouvrages de références mentionnés dans la bibliographie.

La GDV s'envisage principalement pour :

- améliorer la fluidité (ouverture d'une voie supplémentaire telle que l'A4-A86) : cela relève d'une conception classique de voie de circulation générale,
- favoriser les modes alternatifs : cela relève de la conception des voies réservées.

Pour élaborer les recommandations françaises, il fut important de comparer les différents profils en travers utilisés en Europe, les restrictions associées et voir leurs avantages et inconvénients (Jones et al, 2011).

Le dossier « Voies réservées sur VSA » (CERTU, 2013) présente les recommandations de conception des voies réservées TC sur des voies à chaussées

séparées, dimensionnées pour des vitesses limitées à 90 ou 110 km/h.
L'aménagement d'une voie réservée sur VSA nécessite de prendre en compte différents critères permettant de garantir aux TC l'empruntant et aux autres usagers des conditions de sécurité optimales.

Ce même document définit des règles de conception sur la base des règles de l'ICTAVRU concernant la visibilité, la distance d'arrêt, le tracé en plan, le profil en travers avec les largeurs en fonction de la vitesse de référence...

La voie réservée aux TC y est également dimensionnée à 3,50m au regard du gabarit des transports collectifs.

Le dossier présente 7 possibilités d'insertion d'une voie réservée :

- voie réservée à gauche :
 - soit en emprise supplémentaire, correspond de préférence à une voie permanente (ne semble pas nécessiter de GDV à part pour moduler les catégories d'usagers admissibles sur la voie réservée)
 - soit en récupération d'une voie de circulation générale (nécessite de la GDV comme sur l'A1 à Paris avec la voie réservée taxis+TC)
- voie réservée en site protégé (de préférence pour des voies permanentes) :
 - soit sur terre-plein central (peut nécessiter de la GDV en cas de voie réversible comme à Madrid)
 - soit en rive (semble peu adapté à la GDV)
- voie réservée à droite :
 - soit en emprise supplémentaire, correspond de préférence à une voie permanente (ne semble pas nécessiter de la GDV sauf pour moduler les catégories d'usagers admissibles sur la voie réservée)
 - soit en récupération d'une voie de circulation générale (nécessite de la GDV pour activer/désactiver les restrictions de circulations suivant les périodes de congestion)
 - soit sur l'espace de la BAU (peut nécessiter de la GDV pour prévenir les conducteurs d'un incident ou de la désactivation non prévue de la voie réservée).

Il ne semble pas y avoir de « meilleure » position entre une voie réservée à gauche ou à droite (Kuhn, 2010). Le contexte local, la présence ou non d'échangeurs peut venir modifier la pertinence d'un côté ou de l'autre.

L'aménagement d'une voie réservée suivant son positionnement demande un traitement spécifique au niveau des extrémités, ainsi qu'au franchissement des échangeurs. La GDV peut faciliter la compréhension du système et faciliter les flux de véhicules.

Séparer la voie réservée de la circulation générale n'est pas conseillé pour des questions d'exploitation et maintenance de la VR qui peut nécessiter des surlargeurs pour le dépassement.



Exemple de la voie réversible et réservée BUS-VAO de Madrid : Portion à double sens de circulation sur terre plein central : 2 voies de largeur 3,50m bordées par une bande dérasée par sens de 0,50m, soit 8,00 m de plate-forme.

Plusieurs aménagements de voies réservées avec séparations physiques à l'aide de zone tampon, de petits pylônes en plastique ou GBA aux États-Unis ont été expérimentés (Goodin, 2012). Une séparation trop courte entre les voies générales et la voie de covoiturage peut être accidentogène (Dixon et Alexander, 2005). Concernant les voies de covoiturage, la séparation des voies semble importante à cause des différences de situation entre ces voies réservées au covoiturage et les voies générales (Collier, 2004).

Ces séparations physiques sont néanmoins synonymes de contraintes pour l'insertion et la sortie vers ou depuis les voies réservées (DGR-DSCR, 2006).



Sur la BAU ou l'espace qui y est affecté

La BAU n'est pas obligatoire mais offre de nombreux avantages en termes de conception, de sécurité et d'exploitation des voies.

Pour rappel, les fonctions de la BAU sont (CERTU, 2012) d'un point de vue sécurité :

- offrir des possibilités d'arrêts d'urgence aux usagers
- contribuer à la sécurité des automobilistes en panne ou en difficulté

- faciliter l'intervention des secours
- constituer une zone de récupération, en cas de pertes de contrôle des véhicules
- constituer une surface potentielle d'évitement d'obstacles
- contribuer à préserver les règles de visibilité sur la chaussée en courbe à droite
- autoriser le recul des fourgons d'exploitation signalant une queue de bouchon
- contribuer à la sécurité des personnels d'entretien

d'un point de vue capacité :

- faciliter le dégagement de la chaussée en cas d'incident ou d'accident
- faciliter les opérations d'entretien et d'exploitation
- constituer une potentialité de voie supplémentaire lors des travaux.

En référence à l'expérience des Pays-Bas, le dossier « Voies réservées sur VSA » (2013) propose de limiter la capacité admissible sur la voie réservée sur l'espace BAU. Il sera limité à une fréquence de 30 bus à l'heure, lorsque la voie réservée n'est pas gérée par un PC de régulation. Si une GDV est mise en place, la fréquence de circulation sur VR est susceptible d'aller au-delà des 30 veh/h.

Le fait que des véhicules circulent temporairement sur l'espace BAU emmène un comportement déviant de l'utilisation de l'espace BAU, il semble que moins de véhicules utilisent l'espace BAU en cas d'arrêt d'urgence même lorsque la voie réservée est fermée et la BAU ouverte (Kuhn, 2010).

Utiliser l'espace dédié à la BAU pour aménager une voie réservée TC ou une voie auxiliaire impose l'élargissement de la BAU (traditionnellement entre 2,5m et 3m) pour permettre la circulation des véhicules en toute sécurité, et peut nécessiter la réduction des voies de circulation générale suivant le contexte géométrique.

Ainsi sur A4/A86, les voies de circulation ont été réduites de 3,5 m à 3-3,20 m pour la mise en place de la voie auxiliaire de largeur 3 m (Cohen, 2007). 24 % des conducteurs PL se disent gênés par la largeur de la voie (Doré et Piot, 2008), les chiffres sont similaires sur M42 (Nearctis D7, 2010 et Cohen et al, 2008).



Voie réservée temporaire sur espace BAU aux Pays-Bas



Voie auxiliaire temporaire en Angleterre

Ces retours d'expériences montrent l'importance d'étudier et de concevoir une voie réservée ou une voie auxiliaire de largeur minimale pour accueillir le trafic attendu en termes de catégories et de capacité (Nearctic D7, 2010).

L'Angleterre recommande 3,6 m min pour une voie auxiliaire. Ce minimum n'est que de 3,25m pour voie auxiliaire en Allemagne-Rheinland Pfalz alors qu'il est de 3,5m dans les guides allemands (Jones et al, 2011).

Selon (OFROU, 2007), il faut un profil en travers de 10 m (éventuellement, sous conditions, 9,25m) pour passer à 2+1 voies (ce qui fait que de 3,5 m standard pour une voie auxiliaire, on peut descendre à 3,35 m). Aux Pays-Bas, le projet pilote A15 Pays-Bas a une voie auxiliaire de largeur comprise entre 3,25 et 3,30 m. Pour 13 % des sondés, cela ne semble pas trop étroit (Van der Aa, 2000).

Direction territoriale Méditerranée

Synthèse des pratiques

	France	Allemagne	Suisse	Angleterre	Pays-Bas	Etats-Unis	Canada
Utilisation	Temporaire et Permanente	Temporaire et Permanente	Temporaire et Permanente	Temporaire	Temporaire	Temporaire	
Largeur BAU (hors accotement)	3,50m	3,50m (min 3,25m)	3,50m	3,40m	Entre 3,20m et 3,60m	3,00m à 3,60m	
Interdistance refuges	500m	< 1km	500m – 1km	600m – 1km	NR	NR	
Vitesse limite	50 km/h	100 km/h	100 km/h	100 km/h	50 km/h si VR 100 km/h si VA	56 km/h	100 km/h
Régulation vitesse	préconisée	NR	Seulement si temporaire	Obligatoire	NR	NR	
Surveillance	Caméra + DAI	NR	Caméra + DAI	Caméra + DAI	aucune si VR	Caméra + DAI	
Signalisation	dynamique	statique et SAV	dynamique	dynamique si nécessaire	statique si VR Dynamique sinon	simple	
Contrôle sanction	préconisé	Non imposé mais important			préconisé	préconisé	

Refuges

Un refuge est une zone spécialement aménagée sur l'accotement pour améliorer localement les conditions d'un arrêt d'urgence. Ces notions sont bien définies dans l'ICTAAL (2000) où on recommande un refuge tous les 2 km avec BAU et tous les km sans BAU. Sur VSA 90 et 110, des refuges sont implantés tous les 2 km. En l'absence de BAU, ils sont implantés avec une interdistance de l'ordre de 500 mètres.

Le dossier « Voies réservées sur VSA » (CERTU-CETE, 2013) recommande un espacement de l'ordre de 500m à 800m.

L'option prise en compte sur l'A48 à Grenoble est d'offrir à l'usager la possibilité de s'arrêter sur la BAU, pendant et hors période d'activation, en plus des refuges espacés théoriquement de l'ordre de 500m (recommandations issues du rapport Pollet de 2005).

Globalement, à l'étranger, les refuges sont à prévoir tous les 500 à 1000 m pour une circulation sur BAU et les arrêts d'urgence :

- sur M42, l'interdistance est de 500 m et les refuges forment un composant "crucial" du dispositif,
- Pays-Bas, interdistance de 500 m (Helleman, 2008),
- Allemagne : interdistance tous les km (Jones et al, 2011),
- Suisse : interdistance tous les km (OFROU, 2007).

La fourniture d'une signalisation de ces refuges est indispensable (Nearctis D7 – 2010).

La guideline EasyWay sur la circulation sur l'espace de la BAU (2012b) précise que des refuges sont à prévoir au maximum tous les kilomètres. Pour la Highways Agency, après retours d'expériences, un espacement de l'ordre du km semble approprié (Jones et al, 2011).

Problématique des échangeurs

Le franchissement des échangeurs est une problématique complexe car il peut affecter la circulation des véhicules priorités sur la voie réservée et détériorer la performance recherchée.

Dans le dossier « Voies réservées sur VSA » (CERTU-CETE 2013), il est précisé que la création d'une voie réservée à certains modes entraîne des conflits de flux au niveau du franchissement des échangeurs entre les véhicules circulant sur la voie réservée et ceux souhaitant quitter ou entrer sur la VSA.

Dans le cas des voies réservées à gauche ou en site protégé, le conflit est évité au niveau de l'échangeur. Les entrées et les sorties de la VR, le cas échéant, sont à concevoir de manière dénivelée (cas de la voie réversible de Madrid). Le cas échéant, le TC doit être intégré dans la circulation générale suffisamment en amont, s'il souhaite quitter l'infrastructure dans des conditions de sécurité satisfaisantes.

Dans le cas des voies à droite, il convient de distinguer deux types de franchissements : lorsque le TC emprunte les bretelles d'entrée et de sortie ou lorsque le TC reste sur la VSA. Dans ces conditions, la VR doit franchir la bretelle de sortie de la VSA et ensuite la bretelle d'entrée de la VSA.

Autant le croisement de la bretelle de sortie renvoie à la gestion des remontées de file sur la section courante de la VSA et donc à des problématiques de fonctionnement et de sécurité importantes, autant dans le cas de la bretelle d'entrée les remontées de files s'effectue sur le réseau secondaire et renvoie à une problématique plus locale.

Dans les situations de trafic important, il conviendra d'étudier l'intérêt d'une solution dénivelée pour franchir ces bretelles (comme à Madrid ou aux USA selon (Schijns et Eng, 2006)). Ceci est recommandé aux USA dès que le débit dépasse 275 véh/h (Princeton, 2011), mais l'aménagement devient plus coûteux. Une gestion par feux pour réguler le trafic sur la bretelle d'entrée ou une solution consistant à faire sortir le TC sont d'autres options plus simples.

Sur la voie réservée sur espace BAU à Grenoble, une bretelle d'accès se connecte et les véhicules s'insérant sur l'autoroute doivent traverser la voie réservée. Une gestion par feux a été mise en place au niveau de l'intersection pour sécuriser le passage des TC et les rendre prioritaire par rapport aux véhicules entrant sur l'autoroute.

Les mêmes points critiques de conflits au niveau des bretelles d'accès ressortent de divers documents sur le sujet (Kuhn, 2010) et au niveau de l'accès à la voie dynamique (FHWA, 2008). Gérer les échanges est également primordial selon (Nearctis D7, 2010). Echangeurs HOV parfois dénivelés aux Etats-Unis .

Aux Pays-Bas, les TC doivent céder le passage aux autres véhicules aux entrées et sorties (CERTU, 2012).

Zones de transitions

Les zones de transitions sont des secteurs sensibles à aménager avec un changement de profil et de comportements pour les usagers, encore plus impactant pour les voies réservées ouvertes à plusieurs catégories de véhicules.

Les débuts et fins d'aménagement de VR ou VA sont réalisés à partir des règles de conception classiques d'adjonction ou de suppression d'une voie, avec biseau. Il est conseillé de réaliser les débuts et fin de VR/VA au niveau des échangeurs pour faciliter les zones de transitions.

Minimiser les impacts dans les zones de transitions est fortement recommandé (Ungemah et al, 2009).

L'effet d'entonnoir aux extrémités des voies est rappelé dans (DGR-DSCR, 2006). Concernant les voies réservées sur l'espace de la BAU , Kuhn (2010) pose la question de la distance nécessaire pour un rabattement adéquat des véhicules en fin de voie.

Visibilité

La distance de visibilité est le point critique pour la circulation sur espace BAU (Kuhn, 2010) et c'est un enjeu majeur pour (CERTU, 2012). Il est annoncé une distance de 100 m nécessaire pour les voies TC aux Pays-Bas (CERTU, 2012).

Dans le dossier des « Voies réservées sur les VSA » (2013), il est précisé que la visibilité à la distance d'arrêt doit être assurée en tout point de la voie réservée.

Les exigences de visibilité des voies réservées sont différentes selon les équipements d'exploitation disponibles :

Si la voie est équipée d'un éclairage public les règles relatives aux voies réservées classiques doivent être appliquées et il convient de respecter la visibilité à la distance d'arrêt en tout point du projet.

Si la voie réservée ne dispose pas d'éclairage public sur la totalité du parcours alors :

- Soit de nuit la vitesse de circulation des TC est mise en cohérence avec la portée de l'éclairage assuré par les feux de croisement (environ 40km/h,

valeur à confirmer par l'exploitant des TC).

- Soit l'exploitation est renforcée avec un système de DAI et camera à vision nocturne ainsi que PMV sur l'infrastructure et liaison permanente entre le PC et les chauffeurs. Dans ces conditions la vitesse de circulation des TC peut ne pas être réduite de nuit.

Éclairage des voies GDV

Le guide CERTU (2013) « Schémas directeurs d'éclairage d'un réseau routier » propose une méthodologie visant à établir une politique d'éclairage répondant aux enjeux de sécurité et au respect de la réglementation, notamment en lien avec les économies d'énergie, les nuisances lumineuses et dans une démarche d'éclairage adapté aux usages.

Les voies réservées ne sont pas citées dans le guide mais méritent d'être intégrées comme critère dans la décision d'éclairer ou non, notamment dans le cas d'une voie temporaire ayant la fonction d'arrêt d'urgence. Les exigences de visibilité sont différentes suivant les équipements d'exploitation et l'éclairage public de la voie. Il est noté une certaine utilité de l'éclairage de la voie réservée dans (CERTU Aménagements multimodaux, 2011).

Pour rappel la Voie Spécialisée Partagée sur A48 n'est pas éclairée et aucune réduction de vitesse n'a été consignée (CERTU-CETE 2013).

L'éclairage aux Pays-Bas sur voie auxiliaire est rappelé par la FHWA(ATM 2007) et est jugé bénéfique (Jones et al, 2011). La Highways Agency a trouvé qu'un éclairage continu n'est pas essentiel (Jones et al, 2011). L'éclairage entre échangeurs ne semble donc pas très pertinent (Jones et al, 2011).

Divers

Différentes problématiques diverses sont indiquées dans la littérature, notamment liées à l'élargissement de l'infrastructure pour la création d'une voie dynamique :

- la provision d'aires de covoiturage en amont des voies réservées au covoiturage (CERTU Aménagements multimodaux, 2011),
- la problématique du bruit liée à un afflux de véhicules sur une voie auxiliaire (Jones et al, 2011),
- le recueil des eaux de pluie (Kuhn, 2010).

Sécurité

Retours d'évaluations

La signalisation dynamique poursuit trois objectifs principaux :

- assurer la sécurité en prévenant des dangers évolutifs (éviter les sur-accidents ou les accidents sur les dangers évolutifs),
- informer des conditions de circulation et gérer le trafic,
- optimiser le fonctionnement des réseaux (par exemple : harmonisation des vitesses, arrêt et/ou contrôle du trafic, détournement de tout ou partie du trafic).

Pensé peu sécuritaire initialement, le dispositif de Voie Spécialisée Partagée sur A48 n'a finalement eu qu'un seul "presque accident" en 5 ans et le retour d'expérience montre un contexte plutôt favorable (CERTU, 2012). Un souci de sécurité a été déclaré au niveau de la bretelle d'entrée régulée par des feux et du franchissement de la VSP. Il a été résolu par la mise en place d'une meilleure signalisation du carrefour (CERTU, 2011).

Sur A4/A86, il a été constaté une réduction de 8 % des accidents sur le tronçon commun, mais une augmentation de 5 % de ceux-ci sur le périmètre d'influence. Ces deux valeurs ne semblent pas significatives (Nearctic D7, 2011 et Cohen et al, 2010).

Les Pays-Bas sont favorables au déploiement de la GDV et ont évalué des expérimentations de GDV avant/après qui ont démontré des avantages en termes de fonctionnement et de sécurité (Helleman, 2008).

L'Allemagne, après comparaison avant/après d'installations GDV, démontre la diminution de 29 % du nombre d'accidents corporels (Kuhn, 2010). En parallèle, on notera que si une diminution sur section amont de la voie auxiliaire est bien constatée, il semble qu'il y ait une augmentation des accidents avec blessés sur section régulée (Sparmann et al, 2007).

En Angleterre, sur la M42, le retour d'évaluation montre le passage de 5,08 à 1,83 accidents/mois (Kuhn, 2010).

Pour HCG-HRG (2011b), il passe de 5,08 à 3,17 après sans voie auxiliaire, et à 2,25 avec voie auxiliaire avec une forte diminution de l'indice de gravité « Severity index » (HCG-HRG, 2011b).

Néanmoins, le CERTU note une augmentation des cisaillements de 15 % (CERTU, septembre 2014).

La synthèse bibliographique sur les voies auxiliaires (Chase et Avineri, 2008) montre des résultats contradictoires des expériences passées : une diminution des accidents sur certains sites, augmentation sur d'autres (A6 Allemagne, mais diminution de la congestion liée aux accidents sur ce même axe).

Les résultats de l'évaluation de l'accidentologie décrite par Bauer et al (2004) sur les voies dynamiques de largeur réduite et sur la circulation sur l'espace de la BAU montre un risque d'accidents mortels et de blessés supérieur de 7 % à cause de la modification des lieux de congestion. Ces résultats diffèrent cependant selon que l'on soit passé de 4 à 5 voies ou de 5 à 6 voies. Une explication possible est que l'augmentation est liée aux collisions latérales (Bauer et al, 2005).

Selon Ungemah et al (2009), ce sont surtout la largeur réduite des voies qui posent problème, comme celle sur l'I-5 « narrow HSR lanes ». Aux Pays-Bas, le nombre d'accidents avec blessés sur voies auxiliaires a diminué de 13% contre

12% sur les autres voies (Cohen et al, 2010).

Aux États-Unis, les retours d'expériences ne permettent pas de statuer sur le critère de sécurité pour les aménagements sur l'espace de la BAU (Kuhn, 2010). Sur les voies de covoiturage, l'Université de Berkeley a étudié l'accidentalité sur plusieurs dispositifs. Environ 60 % des collisions observées sont des chocs arrière, environ 30 % sont des chocs latéraux. Les voies de covoiturage à accès limité sont plus accidentogènes que les voies à accès continu (1,10 pour le taux de collision avec blessés ou tués pour les de covoiturage à accès limité contre 0,82 pour les de covoiturage en accès continu – chiffres en millions de km parcourus). Les accès les plus accidentogènes sont : ceux situés trop près (moins de 500 m) d'une bretelle d'entrée ou de sortie, ceux qui permettent un accès sur une courte distance (400 m) et ceux qui ont un trafic élevé (1000-1200 véh/h contre 700 à 800 en moyenne). La largeur de la voie (y compris la bande dérasée) semble influencer sur l'accidentalité (Jang et al, 2008).

Concernant les aménagements de voies réversibles : l'évaluation des accidents sur le Pont de St-Nazaire a relevé un seul accident corporel sur la 1ère année d'exploitation, et qui n'était pas lié au dispositif. Mais l'échantillon d'accidents reste trop faible pour conclure (CETE Ouest, 2012).

Wolshon et Lambert (2004) indique que les études sur la sécurité des voies réversibles sont peu nombreuses, et que les voies réversibles ne contribuent pas significativement à l'augmentation de la fréquence ou de la gravité des accidents même si la tendance est plutôt à cette augmentation.

Pour Elvik et al (2009), il existe plusieurs facteurs qui peuvent justifier une hausse comme une baisse de l'accidentalité pour les voies réversibles (davantage de prudence, moins de congestion... ou davantage de chocs frontaux), mais les études sur lesquels ils se basent sont très anciennes.

Finalement, il apparaît que nous avons peu de connaissances sur l'impact de la GDV comme le souligne (Nearctis D7, 2011). Pour la Highways Agency, l'approche a été menée sur une approche de type risque mais cette approche est-elle pertinente ? (Jones et al, 2011)

En conclusion, quel que soit l'aménagement (voies réservées de covoiturage ou sur l'espace de la BAU ou voies auxiliaires...), la GDV (voie auxiliaire notamment) est un dispositif intéressant qui ne semble pas augmenter le risque d'accidentologie sur l'axe équipé d'après les retours d'expériences. Toutefois, il convient de ne pas « faire de la GDV à tout prix », comme en diminuant la largeur des voies.

Néanmoins le système de GDV est encore trop récent pour avoir des réels éléments de retours d'expériences en matière de sécurité qui puissent donner lieu à des recommandations.

BAU...

Comme cela a été décrit dans le chapitre « conception », la BAU offre de nombreuses fonctions de sécurité (arrêt d'urgence et mise en sécurité des véhicules en panne, circulation des véhicules de secours ou véhicules d'exploitation, évitement d'obstacles, visibilité...).

Le rapport « Utilisation de la BAU » (CERTU,2012) synthétise les enjeux de

sécurité et d'exploitation en France et à l'étranger :

De façon générale, l'utilisation de l'espace de la BAU n'est mise en place qu'en cas de congestion avérée et récurrente. En Allemagne, ce phénomène de congestion est défini de façon précise par l'utilisation d'une échelle de qualité du trafic. Si tous les pays conviennent que le niveau de trafic doit être tel qu'il est nécessaire d'opter pour la solution circulation sur l'espace de la BAU, certains pays précisent que la régulation des vitesses sur autoroutes est une solution à envisager au préalable : c'est le cas de la France et de la Grande-Bretagne. Pour l'Allemagne et la Suisse, il existe un second critère : le taux d'accidents dus à la congestion qui doit être significatif. Pour la Suisse, l'utilisation de l'espace de la BAU doit permettre d'améliorer le niveau de sécurité en homogénéisant le trafic. Pour les préconisations EasyWay, le niveau de sécurité doit soit être maintenu soit être amélioré.

Pour l'Allemagne, le niveau de qualité de circulation et de sécurité d'après le manuel « HBS 2001 » doit être strictement supérieur au niveau D (c'est à dire E ou F, niveaux correspondant à un état de congestion avéré) pendant au moins 30 heures dans l'année.

Les préconisations EasyWay (2012) précisent deux autres critères : le fait que le réseau soit capable en amont et en aval de la section traitée d'absorber un surcroît de capacité, et le fait qu'il n'y ait pas d'impact négatif sur la qualité de l'air. Ces critères de base sont assortis d'autres critères d'évaluation qui doivent être pris en compte lors d'études préalables. Les pays insistent sur certains points plutôt que sur d'autres, mais globalement les points évoqués sont les suivants : opportunité et évaluation économique, évaluation socio-économique des déplacements avec modélisation du trafic, évaluation environnementale, évaluation de sécurité, évaluation de faisabilité (comprenant notamment la structure de chaussée selon les préconisations EasyWay).

Le choix d'ouvrir l'espace de la BAU à la circulation aux heures de pointe est dicté par le critère de sécurité et le caractère accidentogène de la voie. Le point critique est bien le nombre d'accidents relevé sur l'axe pour valider le fait d'ouvrir ou non de l'espace de la BAU à la circulation. Le temps de retour à la normale après un événement est en moyenne plus long lorsque l'axe n'a pas d'espace BAU (Kuhn, 2010).

La suppression temporaire de la fonction de la BAU dégrade les possibilités d'arrêt des véhicules en difficulté. (CERTU, 2009)

Les usagers expriment des craintes par rapport à un arrêt en urgence sans BAU. Ceci a pu être vu dans des études avec focus group (Chase et Avineri, 2008) ou à l'aide d'évaluations comme sur Birmingham (Mott MacDonald, 2011).

Comportements

La mise en œuvre d'un aménagement de voie réservée à certains usagers ou de voie auxiliaire va induire la modification de comportements pour certains automobilistes qui vont pourvoir l'utiliser. Le bon changement de comportement de tout ou partie des usagers se fera si l'aménagement est bien compris par tous les usagers.

Une gestion dynamique des voies, avec limitation des vitesses, sur une VSA avec voie auxiliaire permet notamment de prévenir les automobilistes de l'aménagement et du caractère activé ou non de la voie auxiliaire. Le dispositif permet une information sur les dysfonctionnements avals, et ainsi une anticipation des comportements.

Le Dossier « Voies réservées sur VSA » (CERTU-CETE, 2013) rappelle que la mise en place d'une gestion dynamique des voies et des trafics sur VSA permet de régulariser le comportement des usagers par l'abaissement général de la vitesse limite, par un contrôle de la demande aux entrées et par une optimisation des sorties sur les voiries rattachées.

Concernant la mise en place de voie réservée aux TC, il faut rappeler que les conducteurs de bus doivent avoir des comportements de prudence sur ces axes en respectant des consignes de vitesses, tout cela étant consigné dans le règlement d'exploitation.

De plus, sur ce type de voie réservée aux TC, on se préoccupera de l'impact potentiel des « mauvais comportements » possibles des véhicules non autorisés et des deux roues motorisés ceux-ci peuvent être différents selon que la VR est à gauche ou à droite (cas de mauvais comportements sur la voie TC+taxis sur l'A1).

Le mauvais usage de la voie réservée ou de la voie auxiliaire en période non congestionnée quand le dispositif n'est pas actif peut induire des problèmes de sécurité. Quant au mauvais usage de la voie réservée aux TC durant l'activation, cela nuit également au niveau de service de la voie réservée et peut affecter la régularité et le temps de parcours des TC.

Il est donc primordial de bien faire comprendre le dispositif et utiliser les équipements dynamiques au besoin.

Quelques comportements problématiques sont ainsi observés. A Birmingham, des usagers coupent la voie auxiliaire à l'approche d'une sortie, et certains usagers semblent ne pas comprendre qu'il puisse y avoir des véhicules sur la voie auxiliaire (Mott MacDonald, 2011). Ce phénomène est confirmé à Göttingen en Allemagne où des manœuvres de conduite instables sont remarquées à la fin de la voie auxiliaire, au niveau d'un échangeur. Le problème est-il lié au marquage ? (Chase et Avineri, 2008).

Vitesse : limitation et différentiel

Le rôle de la vitesse dans la gestion dynamique des voies

Bien qu'une mesure de régulation dynamique des vitesses ne rentre pas dans le cadre de la gestion dynamique des voies, la limitation dynamique de la vitesse joue un rôle fondamental dans la maîtrise de la sécurité de ces aménagements, comme l'indique le document (CERTU, 2012).

La baisse de la vitesse réglementaire est nécessaire pour apaiser le flux (CERTU, 2009) et ainsi améliorer la sécurité lors de l'activation d'une mesure de gestion dynamique des voies (NEARCTIS Consortium, 2011).

Dans le cadre du tour d'horizon effectué en Europe, Levecq et al (2011) ont d'ailleurs constaté que l'ouverture de la circulation sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence s'accompagne communément d'une diminution dynamique des vitesses réglementaires. En France, la diminution de vitesse est plutôt statique. Cette diminution est pratiquée à la mise en service du dispositif et ne dépend pas de l'état d'ouverture de la voie, comme l'illustrent la voie auxiliaire sur A4/A86 et la voie réversible du Pont de St-Nazaire.

Limitation de vitesse

Comme l'indique (Jones et al, 2011) pour les limitations de vitesse afférentes aux mesures de gestion dynamique des voies, « trust equals compliance » (« la confiance égale au respect »).

Aussi, la question de la limitation de vitesse à appliquer lors de la mise en œuvre d'une mesure de gestion dynamique des voies est primordiale. Si en France cette question se pose quasiment à chaque projet (sauf pour le cas de la circulation des cars sur l'espace de bande d'arrêt d'urgence, pour laquelle la vitesse est limitée à 50 km/h, cf. ci-dessous), d'autres pays ont des règles établies comme :

- l'Allemagne : la vitesse est limitée à 100 km/h si l'espace de la bande d'arrêt d'urgence est ouvert à la circulation (120 km/h si la BAU est suffisamment large) (NEARCTIS Consortium, 2011),
- les Pays-Bas : une limitation dynamique est également mise en place lors de l'ouverture de l'espace de la bande d'arrêt d'urgence à la circulation (Helleman, 2008).

Au Royaume-Uni, la mise en œuvre de la circulation sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence s'est d'abord fait avec une vitesse limite dynamique maximale de 50 miles/h (Parsons Brinckerhoff, 2010). Sur M42, une expérimentation de limitation de vitesse maximale à 60 miles/h a été menée, et apparaît satisfaisante. Cette réflexion à l'échelle nationale n'a pas encore été menée en France.

Limitation des vitesses pour le cas des voies dynamiques réservées aux TC et voies auxiliaires sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence

En France, le rapport Pollet (Pollet et al, 2005) précise bien la vitesse réglementaire maximale à respecter pour la circulation des cars sur une voie réservée sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence (50 km/h). Cette vitesse maximale fait cependant débat sur la Voie Spécialisée Partagée (VSP) de Grenoble, avec une demande d'augmentation de la vitesse maximale pour la section la plus fluide.

Aux États-Unis, où cette mesure est assez fréquemment déployée, les vitesses réglementaires des transports en commun empruntant l'espace de la BAU sont de l'ordre de 30 à 35 miles/h (soit 48 à 56 km/h), mais avec une forte variabilité d'un Etat à un autre : au Maryland, la vitesse réglementaire pour les transports en commun empruntant cet espace est de 55 miles/h (soit 96 km/h).

En cas de voie auxiliaire sur l'espace de la BAU, la limitation « maximale » de

vitesse est identique pour toutes les voies, y compris pour la voie auxiliaire, ce pour tous les pays (Pays-Bas, Grande-Bretagne, Suisse, Allemagne, ainsi que les préconisations EasyWay) et est très souvent de 100 km/h. Cette limitation de vitesse peut être réduite en fonction de la régulation de vitesse vis-à-vis du trafic (par exemple en Grande-Bretagne, vitesse variable jusqu'à 50 mph) ou en raison d'une largeur des voies particulièrement réduite (utilisation de certains profils en travers en Suisse).

Lorsque l'espace de la BAU est utilisé de façon permanente par tous les usagers (BAU supprimée et augmentation de la capacité) la limitation de vitesse change : elle est portée à 120 km/h en Allemagne et de 70 mph en Grande-Bretagne.

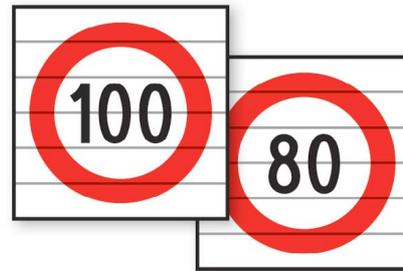


Circulation sur l'espace BAU au Royaume-Uni et limitation dynamique de vitesse associée

BAU Active fermée



BAU Active ouverte



Voie auxiliaire sur A1 - Suisse : limitation de vitesse entre voie auxiliaire fermée et voie auxiliaire ouverte (OFROU, 2010)

Différentiel de vitesse entre voies de circulation

Le différentiel entre les voies de circulation générale et les voies gérées dynamiquement est une problématique qui relève à la fois de l'optimisation de l'infrastructure et de la sécurité routière.

En France, cette notion de différentiel de vitesse n'apparaît que dans le rapport Pollet et elle est reprise dans les rapports « Utilisation de la BAU » (CERTU, 2012) et « Voies réservées sur VSA » (CERTU, 2013). Le rapport Pollet préconise un différentiel maximal de 20 km/h entre la vitesse d'un car sur la VSP

à Grenoble et la vitesse d'un véhicule sur la voie adjacente. Cependant, il est remarqué qu'il est difficile pour le conducteur de bus ou l'opérateur du PC de circulation d'apprécier le différentiel de vitesse, même avec des recueils ponctuels (CERTU, 2012), et cette règle reste contradictoire avec celle de la limitation de vitesse maximale de 50 km/h pour les cars circulant sur la BAU quand la circulation sur la section courante redevient fluide (CERTU, 2011a). Sur ce point, le rapport Pollet reste donc à compléter.

Sur A7 à Marseille qui comporte une VR TC permanente depuis 1 an, la limitation de vitesse maximale est de 90km/h sur toutes les voies. En cas de congestion, le règlement ne stipule pas de réduire la vitesse des TC circulant sur la VR pendant que les VP sont à l'arrêt : l'évaluation de l'expérimentation aidera les études sur le différentiel de vitesses entre voies adjacentes.

Il est bon de rappeler qu'en France, avoir des vitesses réglementaires différentes pour des voies adjacentes n'est pas réglementaire actuellement (CERTU, 2009).

En effet, c'est le différentiel entre vitesse libre et vitesse pratiquée qui va être le principal élément déclencheur – avec le débit – de l'ouverture d'une voie réservée ou d'une voie auxiliaire (Kuhn, 2010). D'un autre côté, un différentiel trop important entre la vitesse pratiquée par les usagers sur la voie réservée a priori fluide et la vitesse pratiquée par ceux sur les voies de circulation générale a priori congestionnée est accidentogène. Il est donc nécessaire de maîtriser ce différentiel de vitesse, même si selon Jang et Cassidy (2011), il existe un lien fort entre la vitesse sur une voie congestionnée et celle sur une voie fluide immédiatement adjacente. Le différentiel de vitesse peut néanmoins atteindre 30 km/h dans le cas d'une voie réservée au covoiturage, et aller bien au-delà pour une voie réservée aux transports en commun.



Etats-Unis : voie de covoiturage avec gestion dynamique des vitesses intégrant le différentiel de vitesse entre voies (source : Washington State Department of Transport)

Conclusion

Lors de la mise en œuvre de mesures de gestion dynamique des voies en France, la limitation des vitesses n'est généralement traitée qu'à l'aide d'une signalisation statique. Or, la problématique de la vitesse devrait être prise en compte dans son aspect dynamique, c'est-à-dire liée à la vitesse pratiquée en temps réel dans les voies gérées dynamiquement.

Cette problématique, qui doit également intégrer celle du différentiel de vitesse

entre les voies, devrait être incluse dans la doctrine technique pour être généralisée lors des futurs déploiements. Aujourd'hui, seul le rapport Pollet a réussi à considérer cet enjeu, et ce même si son application pose parfois question. Le dossier (CERTU-CETE, 2013) rappelle également quelques recommandations pour la limitation de vitesse pour une voie réservée aux transports en commun. Au final, l'intérêt d'une vitesse limite dynamique est d'assurer des déploiements plus sécuritaires mais aussi, en référence au « trust equals compliance », à une meilleure acceptabilité par l'utilisateur de la vitesse prescrite.

Exploitation et surveillance

Introduction

L'exploitation, la gestion et la surveillance d'une mesure de gestion dynamique des voies méritent une attention toute particulière en raison du caractère dynamique de la mesure.

Procédures d'exploitation et de maintenance

Les procédures d'exploitation et de maintenance d'une mesure de gestion dynamique des voies sont nécessaires car ces mesures peuvent se révéler complexes à exploiter (Helleman, 2008). Ces procédures sont d'ailleurs souvent spécifiques à la mesure et sont ainsi souvent définies au cas par cas, en fonction des moyens disponibles et des équipements déployés. L'amélioration de ces procédures pour les futurs déploiements a également été un enjeu récent au Royaume-Uni (Jones et al, 2011).

Problématique de l'ouverture de l'espace de bande d'arrêt d'urgence à la circulation

Parmi les mesures faisant partie de la gestion dynamique des voies, et au regard de la littérature, la circulation temporaire sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence apparaît certainement comme l'une des plus complexes à exploiter.

En effet, les procédures doivent prendre en compte :

- la gestion des conflits entre les véhicules circulant sur cette voie et ceux qui doivent s'arrêter en urgence. Pour Kuhn (2010), il s'agit là d'un point critique de l'exploitation d'une telle configuration. Jones et al (2011) notent cependant que le nombre de pannes est en diminution étant donné la meilleure fiabilité technique des véhicules ; en Suisse, sur la voie auxiliaire de l'A1, on a comptabilisé 15 véhicules en panne sur un tronçon de 4 km de long (RGR Ingénieurs Conseils, 2012). Sur la VSP de Grenoble, on comptabilise environ 4 arrêts dans un refuge par jour (CERTU, 2012).

Les poids-lourds peuvent également poser des difficultés spécifiques :

- sur A4/A86, certains poids-lourds s'arrêtent sur la voie auxiliaire fermée (Doré et Piot, 2008) pour notamment respecter les temps de pause obligatoires,
- sur M42 (au Royaume-Uni), les poids-lourds s'arrêtent également dans les refuges (Transport and travel research Ltd, 2007) ;
- la maintenance de l'espace de la bande d'arrêt d'urgence. Cette maintenance est indispensable à cause des débris qui peuvent s'y amonceler : Kuhn (2010), Parsons Brinckerhoff (2010) et CERTU (2012) ont constaté ce problème. Pour Parsons Brinckerhoff, cette maintenance doit d'ailleurs être une priorité de l'exploitant. Au dire d'exploitants de l'opération de la voie auxiliaire sur A4/A86, des débris, voire des cailloux, entraînaient des difficultés à déployer les glissières mobiles d'affectation.

Gestion des modes dégradés

La mise en œuvre d'une mesure de gestion dynamique des voies s'accompagne d'équipements, de signalisation dynamique et de moyens de communication et de commande qui peuvent subir des pannes.

Des procédures spécifiques d'exploitation doivent dès lors tenir compte des pannes admissibles et de celles qui nécessitent une désactivation de la mesure (EasyWay, 2012b). Cette définition des modes dégradés est néanmoins bien effectuée au niveau de chaque projet de gestion dynamique des voies (St-Nazaire, A4/A86,...), mais il n'y a pas réellement de recommandations nationales en la matière.

De plus, ces modes dégradés peuvent durer très longtemps lorsque les équipements mis en œuvre sont très spécifiques, comme les glissières mobiles

d'affectation sur A4/A86 du fait du coût de maintenance important (CERTU, 2011a).

Intervention des secours

La possibilité d'intervention par les secours est un autre point important à considérer dans les procédures d'exploitation (Chase et Avineri, 2008), notamment lorsque les voies gérées dynamiquement sont séparées physiquement du reste de la circulation (DGR-DSCR, 2006).

Surveillance

La surveillance des mesures de gestion dynamique du trafic peut se faire manuellement sur une plage horaire diurne par un opérateur (cas de la VSP à Grenoble), et/ou par de la détection automatique d'incident. Ce dispositif de surveillance est privilégié aux Pays-Bas pour surveiller des voies auxiliaires (FHWA, 2007).



Détection automatique d'incident sur la VSP à Grenoble

Transitions temporelles

Les transitions temporelles correspondent aux moments de changements d'état de voies gérées dynamiquement. Pour ces transitions, il convient de distinguer le moment où le système informatique propose le changement d'état de la modification effective sur le terrain incluant le séquençage de la signalisation et de l'état des équipements.

Changement d'état

Concernant la proposition de changement d'état, elle peut se faire soit à heure fixe, soit visuellement par un opérateur, soit à l'aide d'algorithmes et de seuils. Chaque solution a ses avantages et ses inconvénients, mais il est parfois difficile pour le gestionnaire de savoir quelle solution privilégier. La littérature reste d'ailleurs très peu fournie dans ce domaine ou s'en tient à des généralités.

Quelques exemples illustrent cette difficulté : pour la voie auxiliaire A4/A86, l'activation s'est d'abord faite à heures fixes (Besnard, 2012) puis en fonction du

taux d'occupation mesuré. Une validation du changement d'état par un opérateur est nécessaire (NEARCTIS Consortium, 2011). Sur la voie auxiliaire de l'A1 en Suisse, un seuil de concentration a d'abord été considéré (Maillard, 2010), puis un seuil couplant vitesse et concentration, pour, au final, ne retenir qu'un seuil de concentration (Samoli et al, 2012).

NEARCTIS (2011) préconise plutôt l'utilisation de seuils combinés débit/vitesse pour activer ou désactiver une voie dynamique. La guideline EasyWay (2012b) précise que les hollandais, comme les anglais sur M42, adoptent un seuil de 1500 véh/h par voie pour activer la circulation sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence.

Séquencement de l'information à l'utilisateur

La gestion dynamique des voies est composée de mesures déployées sur des linéaires de l'ordre de quelques kilomètres. Aussi, lors d'un changement d'état, l'utilisateur en mouvement doit recevoir l'information relative à ce changement. Les stratégies pour cela diffèrent, sans qu'il soit possible d'après la littérature d'évaluer leur impact ni sur le comportement de l'utilisateur ni sur la sécurité. Ces stratégies sont :

- soit un changement d'état de l'ensemble de la signalisation et des équipements dynamiques en même temps (comme sur A1 en Suisse),
- soit un changement d'état de la signalisation et des équipements dynamiques à la même vitesse que celle du flux (comme sur St-Nazaire),
- soit un changement d'état dans le sens contraire de la circulation (comme au Royaume-Uni, d'après (CERTU, 2012).



Fermeture d'une voie auxiliaire : séquencement de l'information délivrée à l'utilisateur : une croix est affichée sur le signal de droite au premier plan, alors qu'une flèche verte est toujours apparente sur le signal de droite au second plan.

Source : annexe de (Chapulut et Taroux, 2004)

Circulation des bus et cars sur voies

La question de la circulation des transports en commun lorsqu'une voie leur est réservée sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence est une question complexe,

réservées

notamment au niveau des échangeurs. Cette question peine à trouver des solutions consensuelles malgré quelques réflexions comme celles présentées dans (CERTU-CETE, 2013). Ces réflexions n'ont cependant pas été évaluées précisément.

Aux États-Unis, l'appréciation de la conduite à tenir au niveau des échangeurs pour ce type de dispositif est parfois laissée au conducteur. Des règles peuvent néanmoins être établies, mais elles changent fortement d'un site à un autre : nécessité de céder le passage aux véhicules, retour du TC dans la circulation générale avant l'échangeur pour reprendre la voie réservée ensuite,... (Kuhn, 2010).

De même, un car circulant sur la VSP alors que le trafic se fluidifie sur la section courante devra continuer sa course sur la VSP. Aux États-Unis, il est au contraire jugé « préférable » que le car revienne dans la circulation générale (CERTU, 2012).

Nombre de véhicules de transports en commun

Y a-t-il une limite au-delà de laquelle la circulation des cars sur une voie réservée aux transports en commun sur l'espace faisant fonction de BAU est accidentogène ? Cette question n'a aujourd'hui fait l'objet de notre connaissance d'aucune étude permettant d'étayer une affirmation quelconque.

Sur la base de recommandations hollandaises, le rapport Pollet (Pollet et al, 2005) limite le nombre de transports en commun à un toutes les deux minutes. Cette limite a été dictée davantage par les dysfonctionnements potentiels dans un échangeur que pour la section courante (CERTU, 2012). Et force est de constater que sur Madrid, le nombre important de bus dans la voie bus/VAO peut provoquer des encombrements entre bus au niveau du pôle d'échanges terminal.

Néanmoins, selon Levecq et al (2011), il faut privilégier un axe où le nombre de véhicules de transport en commun soit suffisamment important pour que l'opération (avec tout ce que cela implique en matière de signalisation et d'équipements) soit rentable. Un des reproches effectué à propos de la voie réservée aux transports en commun sur M4 est le manque visible de bus sur cette voie par un automobiliste sur une voie adjacente (Dixon et Alexander, 2005).

Au final, le CERTU propose de mener une expérimentation visant à établir ce critère (CERTU, 2012). Il propose également de lier ce critère à celui de la surveillance et du trafic : limiter par exemple à 30 bus ou cars par heure quand il n'y a pas de surveillance, et permettre d'aller au-delà et d'associer d'autres catégories d'usagers quand une surveillance est œuvre (CERTU-CETE, 2013).

Gestion des catégories particulières de véhicules

Les voies gérées dynamiquement n'ont parfois pas les mêmes caractéristiques qu'une voie classique en termes de conception. Aussi, dans leur exploitation, certaines catégories de véhicules peuvent y être autorisées ou non. De plus, certains modes de transport peuvent venir gêner la circulation d'autres modes disposant d'une voie réservée.

Poids-lourds

D'après la littérature, la question de la circulation des poids-lourds sur une voie gérée dynamiquement à droite de la circulation – comme une voie auxiliaire – apparaît comme la plus prégnante.

En effet, cette question fait écho à la fois à la charge de la voie dynamique et à celle du dépassement par la droite, les poids-lourds étant souvent considérés par les gestionnaires comme plus lents que les véhicules particuliers. De plus, les poids-lourds sont plus « agressifs » vis-à-vis de l'asphalte, ce qui pour Ungemah et al (2009) milite pour leur interdire l'usage d'une voie auxiliaire.

Par ailleurs, la réponse opérationnelle à cette question est très différente d'une opération à une autre : au Massachusetts, les poids-lourds ne sont pas autorisés sur la voie auxiliaire (Kuhn, 2010), tandis que sur la voie auxiliaire de l'A1 en Suisse, ils le sont.

Sur le comportement des poids-lourds, une nette différence existe également entre les différents sites : si sur A1 en Suisse, les poids-lourds représentent une grande proportion des usagers (Samoli, 2013), ils sont au contraire très peu à se déporter sur la voie auxiliaire de la M42 au Royaume-Uni (Highways Consultancy Group et Highways Research Group, 2011), ce qui, au dire des auteurs, pourrait expliquer le fait que la voie auxiliaire n'est pas très empruntée.

Au final, la question de la gestion des poids-lourds sur la voie auxiliaire apparaît comme complexe à traiter, et peu d'éléments de réponse sont disponibles pour cela. Ce constat a ainsi conduit l'Office fédéral des routes suisses dans sa directive relative à la « conversion de la bande d'arrêt d'urgence en voie de circulation » à laisser à chaque exploitant local le soin de décider de l'autorisation ou non de la circulation des poids-lourds dans une voie auxiliaire (OFROU, 2007).

Deux-roues motorisés La question des deux-roues motorisés se pose notamment dans les voies réservées. En effet, cette catégorie de véhicules est parfois jugée compatible avec d'autres modes de transport comme le covoiturage ou les transports en commun dans une voie dédiée. C'est le cas de la voie bus/covoiturage de Madrid où les deux-roues motorisés sont tolérés. A contrario, sur la voie bus/taxis de l'A1 à Paris, cette catégorie de véhicules n'est pas autorisée et il a été noté un grand nombre d'infractions des deux-roues motorisés.

Si selon (CERTU-CETE, 2013), il n'est pas souhaitable d'autoriser les deux-roues motorisés dans une voie réservée aux transports en commun du fait de l'insécurité que cela engendre, le choix de les autoriser ou non n'aurait cependant que peu d'impact (Dixon et Alexander, 2005).

Taxis La littérature étrangère ne s'intéresse que très peu à la problématique liée aux taxis. En France, cependant, la question de la présence de taxis dans une voie réservée se pose dès que le projet prend forme (CERTU, 2012), le problème étant que le flux de taxis est aléatoire et peut dès lors venir perturber ponctuellement le fonctionnement d'une voie réservée (CERTU-CETE, 2013). Aux Pays-Bas, les taxis ne sont pas autorisés dans la voie réservée (CERTU, 2012).

La faiblesse de la littérature sur ce sujet justifie une recherche plus approfondie sur les conséquences d'une autorisation ou d'une interdiction d'une voie réservée aux taxis.



Voie auxiliaire aux Pays-Bas : une voie sélective entre catégories de véhicules ?

Source : annexe de (Chapulut et Taroux, 2004)

Conclusion

Les procédures d'exploitation françaises existantes pour la circulation temporaire sur l'espace de la bande d'arrêt d'urgence concernent aujourd'hui principalement la circulation des transports en commun. Néanmoins, elles restent peu explicites sur la gestion des modes dégradés et pourraient peut-être proposer des déploiements d'équipements plus légers. La surveillance de la VSP à Grenoble par un opérateur à temps plein peut paraître également surdimensionné et donc difficilement transposable. Cette règle est d'ailleurs à mettre en parallèle d'une réflexion plus globale sur la circulation des transports en commun sur l'espace faisant fonction de bande d'arrêt d'urgence.

Pour l'ensemble des mesures de gestion dynamique des voies, des questions particulières restent également à traiter : autorisation et impact de la circulation des poids-lourds dans une voie auxiliaire à droite de la chaussée, circulation des taxis dans une voie réservée, surveillance du dispositif, séquençage de l'information sur l'ouverture ou la fermeture de la voie dynamique.

Les changements d'état posent également question dans la mesure où les rares recommandations sur l'activation des systèmes et sur le séquençage de la signalisation ne s'accordent pas entre elles. Une réflexion sur les algorithmes et les seuils utilisés apparaît dès lors nécessaire. NEARCTIS (2011) précise que la

question de la modification du comportement des usagers lors de l'activation ou de la désactivation d'un dispositif n'a jamais été traitée. De fait, on ne connaît pas aujourd'hui l'impact de ce changement d'état sur le comportement de l'utilisateur, et donc sur la sécurité du dispositif et son efficacité. Cette question est d'autant plus pertinente que selon Doré et Piot (2008), la plupart des usagers franciliens ne comprennent pas les règles d'ouverture et de fermeture de la voie auxiliaire. Ces usagers jugent d'ailleurs ces règles comme étant opaques.

Compréhension

Introduction

Le comportement de l'utilisateur sur une voie auxiliaire est peu étudié dans la littérature. Pourtant, celui-ci a été identifié comme un facteur clé de réussite dans le déploiement d'une opération. Il y a un véritable besoin de recherche dans ce domaine, comme dans l'éducation du conducteur (Chase et Avineri, 2008).

Selon (Goodin, 2012) et (Jones et al, 2011), la recherche doit porter sur le comportement de l'utilisateur, mais également sur l'information à délivrer, et sur sa compréhension.

En effet, "la GDV peut entraîner des difficultés de compréhension de la part des conducteurs qui ne fréquentent le site qu'occasionnellement, ou qui ne seraient pas normalement attentifs" (Rapport GDV, 2009).

En France, il manque des éléments de langage (GDV, 2009) pour définir chaque dispositif de GDV au regard de chaque opération qui sa propre appellation : « voie dédiée », « voie réservée », « voie en site propre », « voie spécialisée partagée », "voie auxiliaire", « voie covoiturage »...

Quelques éléments

La plupart des études menées sur la compréhension de la signalisation porte sur le dispositif de voie auxiliaire. Ainsi, le symbole type "véhicule en panne" au-dessus de la BAU fermée est mal compris par les usagers (Helleman, 2008). De plus, l'absence de SAV « croix rouge » au-dessus d'une voie dynamique fermée entraîne un fort taux de violation (6 à 60 veh/h contre 1 à 3 avec la croix rouge). Par conséquent, la fourniture d'une information claire et non ambiguë sur l'état de toutes les voies (ouverte / fermée) est indispensable à tout moment.

En outre, sur voie auxiliaire, les résultats d'un questionnaire montrent que 7 % des usagers ne comprennent pas la situation et que 2 % n'ont pas un comportement adapté en croyant pourtant bien faire. 13 % des usagers enfreignent la règle de manière consciente (échantillon portant sur 1261 individus, Helleman 2008).

Sur A4/A86, au début de sa mise en service, la voie auxiliaire est "un peu sous-utilisée", et les utilisateurs y roulent à gauche, avec 32 % qui mordent sur la voie d'à-côté (Doré et Piot, 2008). 55 % des automobilistes ont trouvé le nouveau système facile à comprendre, tandis que 25 % des nouveaux usagers ont un peu tâtonné, mais l'effet d'apprentissage a pleinement joué (Doré et Piot, 2008). 70 % des VL et 77 % des PL trouvent les messages PMV faciles à comprendre (Doré et Piot, 2008). Cependant, 23 % des VL et 45 % des PL ne croient pas pouvoir s'arrêter sur la voie auxiliaire en position BAU en cas d'urgence (Doré et Piot, 2008) et la compréhension de l'utilisation d'un refuge sur voie auxiliaire est également peu claire (TTR, 2007).

Sur la M42, le message "lane ahead closed" écrit sur PMV n'est pas compréhensible pour 25 % des usagers locaux. (Mott Mac Donald Ltd, 2008).

Les usagers semblent ne pas comprendre non plus le dispositif de voie auxiliaire dans les échangeurs (HCG-HRG, 2011).

En Australie, des tests de compréhension mélangeant la limitation de vitesse dynamique et la signalisation de GDV par SAV ont été menés. La configuration jugée optimale après tests est celle indiquant une limitation de vitesse seule au-dessus des voies circulées et une croix rouge et/ou flèche rabattement pour les voies fermées ou en cours de fermeture (Walsh et Drepas, 2009).

A noter qu'au Royaume-Uni, aux Pays-Bas et en Allemagne, la compréhension de nouveaux messages est testée avant implémentation (Jones et al, 2011).

Concernant la voie réversible du Pont St-Nazaire (utilisation de SAV et de plots

dynamiques lumineuses), la signalisation est jugée très compréhensible pour les usagers par les forces de l'ordre (CETE de l'Ouest, 2012).

Effets pervers des dispositifs

Dans le cas de la voie auxiliaire, les (DGR-DSCR, 2006) craignent une "accoutumance" des usagers à rouler sur l'espace de la BAU si la voie est ouverte temporairement. Cette crainte a été confirmée par Chase et Avineri (2008) : en effet, un usager habitué à trouver une BAU ouverte sera enclin à y retourner, même si elle est fermée. Aux USA, dans le cas d'un trafic dense ou congestionné, l'utilisation de la voie auxiliaire peut être constatée même si elle n'est pas ouverte à la circulation (Kuhn, 2010).

Acceptabilité – Acceptation

Généralement positive

Les retours d'expériences français et étrangers montrent une acceptabilité plutôt positive des projets de VA, de voies HOV, de VR TC sur espace BAU :

- Appréciation positive sur A48 (Cohen et al, 2008). Bonne acceptabilité des automobilistes sur la Voie Spécialisée Partagée. Les conditions d'utilisation sont jugées satisfaisantes ou très satisfaisantes pour 77 % des automobilistes (Barthe, 2009).
- Acceptabilité sur la voie réversible du Pont de St-Nazaire "largement positive" (CERTU, mars 2013). Les premiers résultats montrent une bonne acceptation du dispositif : pas de surprise ni d'inquiétude (Désiré et al, 2013).
- Voie bus intermittente à Lisbonne bien acceptée « sûrement en raison de son caractère temporaire » (CERTU, 2011).
- Acceptabilité voie de covoiturage : pour s'assurer de l'acceptabilité d'une voie HOV, les américains ne déploient plus cette mesure que sur de nouvelles infrastructures (DGR-DSCR, 2006). Les voies de covoiturage sont d'ailleurs progressivement transformées en HOT (voies de covoiturage autorisées aux usagers solo sous réserve d'un droit de péage). Aux USA, le taux de satisfaction des voies HOT est généralement supérieur à 65 % selon des enquêtes (DGR-DSCR, 2006).
- Cas des voies de covoiturage de San Diego, où un focus group a été monté. Il s'est réuni une fois avant l'instauration du dispositif, et 2 fois après. Le résultat a montré une opinion favorable avant, malgré des réticences des covoitureurs. Après, les opinions étaient très positives, de la part de tous les participants et le programme de voies HOT est jugé loyal à la fois pour les payeurs et les utilisateurs des voies générales pour 87 % des sondés (Mahlawat, 2007).
- M42 : 84 % des usagers de la voie auxiliaire sont confiants dans son utilisation comme voie "normale" (Jones et al, 2011).

Pour une meilleure acceptabilité, outre l'information avant/pendant/après la mise en place du dispositif, la prise en compte des usages peut être faite à partir d'enquêtes et de participation des usagers de la route suivant la nature du projet. Les américains recommandent d'inclure les citoyens dans la réflexion (FHWA, 2008).

L' « empty lane syndrom »

Il est souvent fait référence au syndrome de la « voie vide », sous-entendant qu'une voie réservée à certains usagers sous-utilisée est très mal perçue par des conducteurs dont la circulation pourrait être contrainte. Ce terme "Empty lane syndrome" a notamment été expliqué par (Collier, 2004) et (Dixon et Alexander, 2005).

Pour pallier ce phénomène, il est rappelé l'importance d'une étude d'opportunité qui étudiera la pertinence d'utiliser des aménagements de voies réservées pour accompagner la promotion de certains modes (TC, taxis, covoiturage...). L'étude d'opportunité est un préalable à la décision, qui aura pour objectif d'identifier toutes les solutions a priori crédibles, puis de les comparer en mesurant leur contribution ou leur cohérence avec les objectifs du PDU, document de référence visant à orienter la mobilité dans un cercle vertueux et durable. (CERTU-CETE, 2013).

L'acceptabilité de la voie de covoiturage par des véhicules solo est aussi "visuelle" : si la voie de covoiturage est peu fréquentée, elle sera d'autant moins bien acceptée (DGR-DSCR, 2006).

Pour pallier les voies de covoiturage sous-utilisées aux États-Unis, des voies HOT ont été mises en places. En France, ce système est étudié par les concessionnaires principalement, qui voient un réel enjeu de proposer un service payant de priorisation sur un axe. A noter que les gens sont plutôt réticents à un péage, à moins qu'ils ne voient un bénéfice pour eux-mêmes (Loudon DKS Associates, 2009).

Quelques voix négatives

Quelques voix négatives sont parfois entendues : "faire circuler les gens sur la BAU, c'est étendre l'autoroute par le vol" d'après les Amis de la Terre (Chase et Avineri, 2008). Quelques discours négatifs ont été vus dans la presse locale également (ex : Western Morning News: "la voie auxiliaire va amener davantage d'accidents, de blessés et de tués").

Ces éléments de discours ne semblent pas étayés par des évaluations techniques concrètes mais peuvent dégrader les messages à faire passer.

Conclusions

L'acceptabilité d'un dispositif de GDV est fortement lié aux contraintes inhérentes pour les usagers et à la compréhension du système.

Le manque d'expérimentations d'axes équipés en GDV en France ne permet pas de réaliser de bonnes évaluations de l'acceptabilité. Il y a un réel enjeu de mieux comprendre cette thématique.

Aux États-Unis, le besoin de recherche dans l'acceptabilité publique a été bien identifié (Goodin, 2012).

Violation

Introduction

"La tentation peut être grande pour un usager pressé d'utiliser une voie de circulation qui lui est interdite" (Rapport GDV, 2009).

Le contrôle-sanction est recommandé en cas de partage de la voie réservée avec d'autres usagers ou sur une voie auxiliaire (pour lorsqu'elle est fermée), pour éviter des abus et la circulation illégale sur ces voies à circulation restrictive.

Éléments de connaissance

Les retours d'expériences ont montré qu'en cas de circulation temporaire sur l'espace de la BAU, le taux de fraude peut être important.

Dans le cas d'un projet de voie réservée, le contrôle sanction aura un double objectif :

celui d'optimiser la sécurité dans une section dont l'usage est un peu plus compliqué,

celui de maintenir la productivité de la ligne TC en faisant respecter l'usage de la voie réservée.

La difficulté supplémentaire dans le cas d'une voie auxiliaire ou une voie réservée sur l'espace de la BAU est de distinguer le contrevenant (véhicule non autorisé) de l'usager en panne ou en détresse et des véhicules de secours autorisés. (CERTU, 2013).

Les retours d'expérience sur la circulation illégale montrent des différences parfois importantes. Pour les voies réservées aux transports en commun, on constate

Voie Spécialisée Partagée sur A48 : peu de violation. Néanmoins les aspects comportementaux sont "à approfondir" (Cohen et al, 2008).

A1 voie réservée aux TC et taxis : plus de 60 % de contrevenants avant mise en service du dispositif de contrôle-sanction (CERTU, 2011), néanmoins cela n'entraîne pas "de façon récurrente et évidente de situations dangereuses" (Barthe et al, 2009).

A10 voie réservée TC sur l'espace de la BAU avec une signalisation minimale : quelques véhicules non autorisés identifiés (colloque 16/10/2013 « de la voie rapide urbaine à la voie structurante d'agglomération - Vers une voie intégrée aux territoires ?).

M4 voie réservée aux TC : moins d'un veh/h (CERTU, 2011).

Concernant la voie réversible du Pont de St-Nazaire :

violation surtout par les deux-roues motorisés, et problèmes plus importants de nuit (Désiré et al 2013).

Concernant les voies auxiliaires : Aux Pays-Bas, il est noté que la violation est plus faible s'il y a une croix rouge au-dessus d'une voie auxiliaire fermée plutôt que dans la situation où tous les signaux d'affectation des voies sont éteints : 6 à 60 « mauvais utilisateurs »/h dans cette dernière configuration contre 1 à 3 avec la croix rouge allumée (et 0 à 3 sur une autoroute "normale") (Helleman, 2008). Sur la "plus lane" (voie « auxiliaire » à gauche), le nombre de contrevenants est fortement dépendant de la conception au point de départ (de 0 à 30 « mauvais utilisateurs »/h). Les mauvais utilisateurs conscients ne sont pas convaincus du

danger (Helleman, 2008). Les « mauvais utilisateurs » non conscients se fient d'abord aux signaux, puis au marquage en cas de défaillance ou de masquage des signaux.

A1 Suisse voie auxiliaire : maximum 1 contrevenant/h sur BAU fermée (Maillard, 2010).

Comme aux Pays-Bas, afficher la croix rouge au-dessus de la BAU fermée semble efficace mais cela est non réglementairement déployable en Suisse (RGR, 2012).

Concernant les retours d'expérience pour les voies de covoiturage :

Leeds : 6 % de violation. Ce pourcentage est similaire pour la voie de covoiturage à Bristol (7 %).

Trondheim : de 10 à 50 % de violation selon les heures. Ce pourcentage a fortement diminué après l'instauration du marquage « covoiturage » au sol et la mise en place contrôles à 5/20 % (Haugen, 2004).

Kristiansand : de 9 à 15 % 1 mois après ouverture, de l'ordre de 25 % 1 an après ouverture (Haugen, 2004).

Linz (covoiturage 3+, dispositif non réglementaire, information minimale, pas de contrôle physique possible et amende de 21€) : env 30 % (Dixon et Alexander, 2005).

Au Minnesota, le taux de violation dépend fortement du type de séparation existante entre les voies (35 % env sur I-35 non barrière, et 22 % env sur I-394 barrière). (Cambridge et URS, 2002).

Fraude et contrôle du nombre d'occupants (HOV)

Avant de mettre en place une voie auxiliaire ou voie réservée, il est important de réfléchir bien en amont au besoin et au moyen de contrôler les possibles infractions.

Le contrôle sanction peut concerner plusieurs infractions :

- Le respect des vitesses, des distances entre véhicules.
- Le respect de l'usage de la voie réservée ou de la voie auxiliaire (catégories, temporellement).
- Le respect du taux d'occupation, en cas de covoiturage.

Pour éviter la fraude sur la voie réservée et un nombre d'équipements de surveillance et de contrôle-sanction important, il peut être très utile de protéger le site par des séparateurs fixes.

L'expérience anglaise de la M42 (Birmingham) montre un bilan intéressant sans dispositif mobile, mais avec un niveau important d'équipement en gestion des vitesses et de contrôle sanction (affichage des amendes, caméra de contrôle de vitesse à chaque portique).

La tendance des usagers à l'infraction des règles est fondée sur le bénéfice global perçu, justifié par le risque de se faire verbaliser et le montant de la pénalité si on est pris (Dixon et Alexander, 2005). Deux facteurs sont essentiels, le montant de la pénalité et l'occurrence du contrôle (automatique ou ponctuel/forces de l'ordre). Si l'un est important, l'autre peut être plus faible.

Pour faciliter le contrôle d'une voie réservée TC, le gestionnaire peut demander l'obligation d'apposer devant le bus un signe repérable aisément.

Pour ces raisons, en cas de contrôles peu fréquents, l'amende doit être dissuasive et affichée sur place de manière très lisible, à l'instar de ce qui se voit outre-Atlantique. (CERTU, 2013) La voie réservée payante « 495 Express » ouest Washington est une voie express ouverte gratuitement aux bus, aux motos, au covoiturage 3+. Elle est payante pour tout autre véhicule, même pour les motorisations hybrides. Elle est interdite aux PL. Les amendes sont sévères et graduelles en fonction de la récidive :

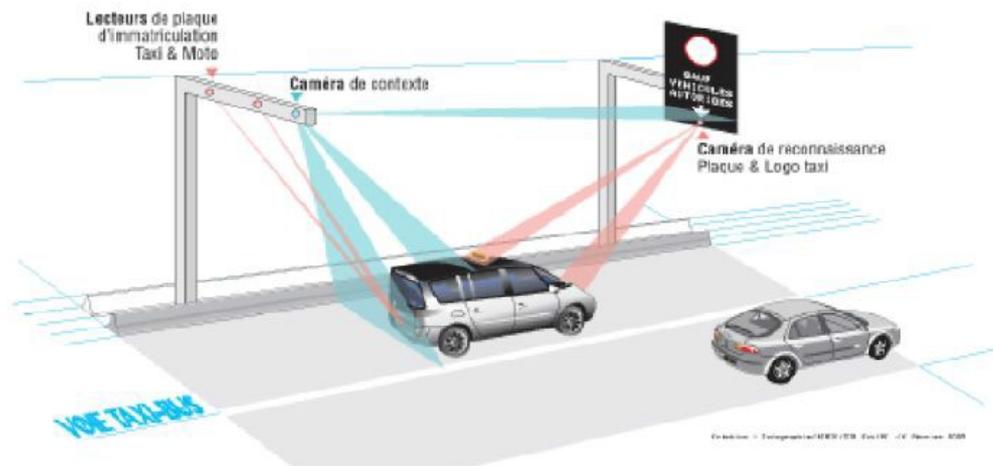
- \$50 lors d'une première fraude
- \$250 lors de la deuxième fraude
- \$500 lors de la troisième fraude dans les 2 ans après la deuxième fraude
- \$1,000 lors de la quatrième fraude dans les 3 ans après la deuxième fraude.

En concertation avec les services concernés, il convient de prévoir les moyens ou les aménagements nécessaires de surveillance par les agents de police. Cette surveillance peut se faire par exemple à partir d'un véhicule stationnaire ou en mouvement sur ou à côté de la voie réservée/voie auxiliaire.

A l'inverse, le contrôle-sanction automatisé permet un respect des règles avec une grande efficacité.

En France, le contrôle sanction automatisé s'est largement développé pour la vitesse, mais reste à l'état d'expérimentation pour surveiller l'usage d'une voie.

Dans le cas de l'expérimentation de la voie réservée aux taxis et aux TC sur A1, un système de contrôle-sanction semi-automatique a été mis en place pour limiter l'usage de la voie réservée aux taxis et TC uniquement. Le contrôle du bon usage de la voie réservée par un système de vidéo-surveillance et lecture de plaques est possible car les taxis admis sur la voie réservée peuvent être connus. Encore non réglementaire, il reste soumis à une expérimentation, avec la présence d'un officier de police judiciaire.



Contrôle sur la voie réservée taxis bus sur A1 (même déploiement sur A7 à Marseille)

Le contrôle automatique du nombre d'occupants dans un véhicule n'est pas encore disponible : aujourd'hui, en Amérique du nord, ce contrôle se fait encore manuellement et ponctuellement avec des niveaux de sanctions dissuasifs, il

n'existe encore aucun système automatique de contrôle jugé suffisamment fiable. Traditionnellement les HOV sont associées avec des forces de contrôle pour verbaliser les infractions d'occupations illégales. Sans système automatique, le contrôle se fait manuellement et aléatoirement par des agents (avec une amende élevée pour dissuader). Une étude menée dans le New-Jersey en 1996 citée par (CERTU, 2014) précise que 36 % des véhicules identifiés comme contrevenants à l'aide de méthodes manuelles avait bien le bon nombre d'occupants requis. Et une autre étude indique que 21 % des véhicules identifiés comme contrevenants par un dispositif vidéo ne l'étaient pas (CERTU, 2014).

Il n'y a pas d'éléments de connaissance sur la violation d'une éventuelle voie covoiturage en France (DGR-DSCR, 2006). Le taux de fraude est en moyenne de 10% et varie jusqu'à 50 % (CERTU, 2014). Mais il peut être très faible par endroits : moins de 5% sur l'I-15 Express lanes HOT (Collier, 2004).

Les aménagements de voie réservée en site propre intégral peuvent faciliter le contrôle des véhicules en limitant la surveillance en un point. A Madrid sur la voie réservée BUS-VAO, un emplacement pour les contrôles et les arrêts par la police est prévu (CERTU, 2011).

Le contrôle du taux d'occupation des véhicules reste un point faible.

Pour Deffayet et Pitié (2011), il est primordial de mettre en place un contrôle-sanction avant la mise en œuvre une voie dédiée covoiturage.

Méthodologie d'évaluation

Généralités sur l'évaluation des mesures de gestion dynamique des voies

L'évaluation des mesures de gestion dynamique des voies est nécessaire pour comprendre les objectifs auxquels ces mesures répondent et dans quelle proportion elles y contribuent. L'évaluation permet également de capitaliser les facteurs de réussite et les points d'achoppement des systèmes opérationnels.

Or, comme les mesures de gestion dynamique des voies interviennent sur la dynamique du trafic et sont également susceptibles d'être impactées par des tendances générales d'évolution, l'évaluation de ces mesures requiert la mise en place de méthodes suffisamment fines pour détecter les impacts réellement liés à la mise en œuvre de la mesure (CERTU, 2009). Par ailleurs, un raisonnement par analogie pour l'évaluation des impacts est difficile à mettre en œuvre étant donné que, d'un déploiement à l'autre, la signalisation et les équipements mis en œuvre diffèrent : la compréhension de l'usager et son action peuvent alors fortement varier d'un site à l'autre.

Enfin, certains aspects de l'évaluation des impacts, comme le report modal ou la prise en compte du confort qu'apporte la mesure, sont peu – voire pas du tout – étudiés (Cohen et al, 2008).

Pour améliorer l'évaluation des projets de gestion du trafic, dont fait partie la gestion dynamique des voies, le Cerema a mis en place en 2012 un groupe de travail visant à produire un guide méthodologique et différents outils thématiques. Ce travail, en cours (CERTU, 2013b), devrait permettre de répondre à de nombreuses questions en suspens dans ce domaine et de contribuer à la réalisation d'évaluations, car comme le notent la DGR et la DSCR (2006), les évaluations ne sont pas toujours effectuées.

L'évaluation peut par ailleurs être envisagée sous différents angles d'approche : évaluation d'atteinte des objectifs du projet, évaluation technique, évaluation des impacts de natures diverses (aspects trafic, sécurité, confort de l'usager, environnement, énergie, etc.), évaluation socio-économique pour la collectivité, évaluation d'acceptabilité (CERTU-CETE 2013).

Spécificités des mesures de gestion dynamique des voies

Par rapport aux projets globaux de gestion du trafic, l'évaluation des projets de gestion dynamique des voies est cependant spécifique sur plusieurs points. En effet, ces mesures répondent parfois à des objectifs particuliers comme celui de favoriser le report modal.

Les indicateurs de l'évaluation, notamment de l'évaluation des impacts, seront donc eux aussi spécifiques. Ainsi, pour une voie réservée aux transports en commun, il convient d'évaluer la mesure non pas avec l'indicateur usuel « débit » de l'axe, mais « nombre de passagers transportés » sur l'axe (CERTU-CETE, 2013).

Hypothèses

Étant donné que les mesures de gestion dynamique des voies ont des impacts qui peuvent être tenus par rapport aux évolutions tendanciennes de la circulation, il est souvent nécessaire de faire des hypothèses pour mener à bien l'évaluation. Les hypothèses concernent souvent l'absence de trafic complémentaire induit par la mesure comme sur la voie auxiliaire A4/A86 (Cohen, 2008), ou l'absence de report de trafic sur le réseau secondaire.

Ces hypothèses restent généralement difficilement vérifiables, y compris a posteriori.

Évaluation a priori

La confrontation de l'évaluation a priori de l'impact d'une mesure de gestion dynamique des voies sur le trafic avec la réalité une fois la mesure mise en œuvre montre la difficulté de l'exercice.

Difficultés de l'exercice de l'évaluation a priori

Parmi les difficultés recensées dans l'exercice de l'évaluation a priori, on note celle de la prévision de la congestion en aval d'une voie auxiliaire (Doré et Piot, 2008) ou de la remontée de la congestion lors de la réservation d'une voie (CERTU, 2011). Ainsi, lors de la mise en œuvre de la voie bus/taxis de l'A1 à Paris, la réservation de la voie a entraîné un allongement des temps de parcours, y compris pour les véhicules disposant de la voie réservée, étant donné l'allongement considérable de la congestion : cet allongement allait bien au-delà du début de la voie réservée, et il n'avait pas été prévu qu'il soit aussi important. De même, la prévision de trafic induite par la réservation d'une voie au covoiturage et, par corollaire, du report de la congestion sur les voies de circulation générale semble peu performante. Un exemple illustrant cette difficulté concerne la prévision de véhicules en covoiturage sur la voie dédiée de la SR-95 en Californie : le nombre de véhicules attendus était supérieur au nombre de véhicules dans la voie, ce qui a entraîné une mauvaise acceptation du dispositif par les citoyens (Collier, 2004). Cependant, le manque de véhicules dans une voie de covoiturage peut être compensé par l'autorisation d'y circuler pour les véhicules solo à condition qu'ils y acquittent un péage. Ces dispositifs, appelés voies HOT outre-atlantique pour « High-Occupancy Toll », permettent de « vendre la surcapacité disponible » (DGR et DSCR, 2006). Un équilibre est néanmoins à trouver entre covoitureurs, véhicules solo s'acquittant d'un péage et éventuellement transports en commun (CERTU-CETE, 2013). Mais aujourd'hui, l'évaluation a priori ne permet pas d'arriver à un tel niveau de finesse.

Outils et logiciels disponibles

L'évaluation a priori manque en fait de techniques éprouvées : de réels besoins existent pour des logiciels plus fins et plus complets pour évaluer les impacts d'une mesure de gestion dynamique des voies sur le trafic, sur la qualité de l'air et sur l'adéquation des voies HOT aux revenus des usagers (FHWA, 2008).

Ce constat est partagé par Kuhn (2010) pour qui les outils et logiciels d'évaluation a priori ne sont pas adaptés pour la gestion dynamique des voies. Cependant, un logiciel de simulation semble avoir été mis en œuvre en Allemagne pour l'évaluation a priori d'une voie auxiliaire (FHWA, 2007).

Duret (2014) note néanmoins qu'il est possible d'évaluer a priori une mesure de gestion dynamique des voies à condition de prendre des précautions, notamment par rapport aux données d'entrée du logiciel comme le nombre de véhicules utilisant la voie de covoiturage.

Quelques critères simples facteurs de réussite

Sans être des indicateurs fiables pour une évaluation a priori cohérente et robuste, quelques critères de réussite pour le déploiement de mesures de gestion dynamique des voies sont donnés dans la littérature.

Ainsi, pour une voie réservée aux transports en commun sur l'espace faisant fonction de bande d'arrêt d'urgence, Levecq et al (2011) considèrent qu'avoir plus d'une minute de variabilité de temps de parcours pour 3,2 km de longueur d'aménagement est un facteur de réussite du projet. Pour la VSP de Grenoble, Barthe (2009) indique que ce critère était bien rempli avec une variabilité du temps de parcours de l'ordre de 3 à 6 minutes avant mise en service pour un parcours de 4 km.

Pour une voie réservée au covoiturage, Deffayet et Pitié (2011) indiquent qu'un gain de temps de l'ordre de 5 minutes est « nécessaire pour que l'avantage soit

clairement perçu ».

Conclusion

La réalisation d'évaluations est nécessaire à la fois a priori pour mesurer l'adéquation du projet aux objectifs et a posteriori pour valider cette adéquation et capitaliser sur les résultats obtenus. Mais pour évaluer, il convient de disposer d'une méthodologie adaptée au cas particulier de la gestion dynamique des voies. Bien que traitant d'un sujet plus large, la démarche en cours au Cerema doit permettre d'aboutir à ce résultat, même si quelques questions pourraient rester en suspens.

Dans la pratique, l'évaluation a priori semble néanmoins poser quelques difficultés en partie liées au manque d'outils et de logiciels adaptés pour la réaliser. En effet, évaluer a priori une mesure de gestion dynamique des voies suppose de bien comprendre :

- les reports de trafic en amont d'une voie réservée ou d'une voie réversible, et en aval d'une voie auxiliaire ou réversible
- le nombre de véhicules et la dynamique du trafic au droit de la mesure.

Or, aujourd'hui, les outils et logiciels de simulation semblent peu enclins à résoudre efficacement ces difficultés, à moins que ce ne soit davantage les utilisateurs de logiciels de simulation qui voient difficilement comment faire prendre en compte ces reports et cette dynamique par le logiciel. Quelle que soit l'hypothèse retenue, des outils et logiciels adaptés à la gestion dynamique des voies faciliteraient l'évaluation a priori et rendraient ses résultats plus cohérents avec la réalité.

Formation / communication

Formation des usagers sur voies réservées

La voie réservée sur l'A48, à Grenoble, est uniquement accessible aux conducteurs TC de lignes régulières, ayant suivi une formation. En effet, selon le (CERTU, 2012), ces chauffeurs - mais pas ceux des cars de tourisme - sont des professionnels qui peuvent être formés. (Kuhn, 2010) approuve ce besoin de formation des conducteurs, car il constitue un point critique des voies réservées sur BAU.

Communication

Il est nécessaire d'éduquer le public à la GDV (Parsons Brinckerhoff, 2010 et Jones et al, 2011) et cela passe par de la communication pour expliquer aux usagers le fonctionnement des différents dispositifs de GDV, en vue d'optimiser leur utilisation en toute sécurité.

Pour la voie réversible du pont de St-Nazaire, le conseil général de Loire-Atlantique a lancé une importante campagne de communication avant la mise en service de cette voie, sous différentes formes : réunions publiques, plaquettes de communication en français et en anglais, articles dans le journal du CG diffusé dans tout le département et sur leur site internet, dans les médias locaux.

Conclusions : manques, besoins et apports de la recherche

Synthèse conclusive

La réglementation française n'est pas en adéquation avec la gestion dynamique des voies et ne permet pas le déploiement de dispositifs éprouvés, sécuritaires et efficaces. De plus, la réglementation évolue trop lentement au regard des nouvelles techniques et technologies disponibles. Au contraire, à l'étranger, la réglementation fournit parfois un véritable socle pour harmoniser et sécuriser les déploiements.

La doctrine technique française est encore peu présente, mais elle peut se nourrir des éléments disponibles à l'international. C'est d'ailleurs de cette façon qu'ont procédé les rédacteurs du rapport Pollet (Pollet et al, 2005) et du dossier « voies réservées sur VSA » (CERTU-CETE, 2013).

La mise en place d'outils nationaux pour établir des procédures d'exploitation adaptées à chaque dispositif, mais permettant également des déploiements harmonisés et non onéreux, ressort également comme une nécessité. Ces procédures doivent inclure la définition et la gestion des modes dégradés ainsi que le séquençage de la signalisation et des équipements dynamiques permettant d'informer l'utilisateur sur l'état de la voie dynamique. Ces procédures d'exploitation existent cependant en partie aujourd'hui pour les voies réservées aux transports en commun, notamment lorsque ceux-ci circulent sur l'espace faisant fonction de bande d'arrêt d'urgence. Enfin, ces voies réservées aux transports en commun peuvent-elles être ouvertes aux taxis ?

Dans le domaine de l'évaluation, les manques et besoins actuels sont en grande partie considérés dans un groupe de réflexion à l'échelle du Cerema avec l'élaboration d'un guide méthodologique et d'outils pour l'évaluation des projets de gestion du trafic. Ce guide et ces outils permettront certainement une meilleure prise en compte de l'évaluation pour les projets et opérations actuelles, ainsi qu'une meilleure capitalisation des impacts des mesures de gestion dynamique des voies.

Apports de la recherche : besoins et perspectives

Sur la vitesse, il y a une vraie problématique à traiter à l'échelle nationale, et non pas à l'échelle d'un projet : quelle vitesse réglementaire pour quel aménagement ? Comment gérer dynamiquement la vitesse en fonction de l'état d'activation de la GDV ? Quel différentiel de vitesse est admissible entre des voies de circulation adjacentes ? Comment gérer ce différentiel de vitesse ? L'exemple de la VSP est un bon point de départ pour traiter la problématique, et une ORSI vitesse devrait traiter ces questions très prochainement. Cette ORSI doit pouvoir traiter les deux aspects du problème : celui de la limitation (dynamique) de vitesse et celui du différentiel de vitesse entre voies adjacentes pour lesquelles l'écoulement est différent. Ce traitement permettrait d'aboutir à une doctrine voire à une réglementation comme cela existe déjà dans différents pays européens ou aux États-Unis.

Sur la circulation des transports en commun sur l'espace faisant fonction de bande d'arrêt d'urgence, beaucoup de questions restent en suspens. Quelques réponses existent bien, mais elles ne sont pas suffisamment étayées pour être validées. Ces questions concernent notamment : la signalisation et les équipements à déployer, les procédures d'exploitation notamment en cas de véhicules en panne, la gestion des échangeurs, la marche normale à suivre pour le

car et la pertinence d'un nombre minimal et/ou maximal pour dédier un espace pour une voie réservée aux transports en commun.

Concernant les voies auxiliaires, une des questions principales relatives à l'exploitation concerne la gestion des catégories de véhicules tels que les poids-lourds ; faut-il les interdire sur la voie auxiliaire au risque de voir celle-ci peu utilisée (comme sur M42 au Royaume-Uni) ou au contraire de les autoriser au risque de faire de cette voie une « voie poids-lourds » (de façon à peu près similaire à ce qui se passe sur A1 en Suisse) ?

Pour ces deux mesures, à l'heure où existe une volonté d'harmonisation de la signalisation et des équipements à l'échelle européenne, mais aussi une volonté de réduire les coûts d'investissement, de fonctionnement et de maintenance, la question du type d'équipements à mettre en place, de la signalisation à adopter pour une bonne compréhension par l'utilisateur du dispositif est également primordiale : comment faire pour déployer à moindre coût, en faisant en sorte que l'opération améliore les conditions de circulation de tout ou partie des usagers, en leur garantissant voire en améliorant la sécurité ? La question de l'acceptabilité des dispositifs, notamment ceux qui favorisent un mode de transport par rapport à un autre est également posée à travers cette analyse de l'état de l'art.

La compréhension des changements d'états d'une voie dynamique par l'utilisateur est une question peu traitée actuellement. Or, l'utilisateur émet parfois des doutes sur les règles qui régissent ces changements.

Ces règles elles-mêmes se basent sur une algorithmie aujourd'hui peu robuste, peu homogène d'un site de déploiement à un autre et encore peu capitalisée. Une des pistes potentielles de la recherche doit concerner le processus d'activation, de changement d'état et de désactivation pour chaque famille de mesure de gestion dynamique des voies.

En matière d'évaluation, la recherche pourrait utilement porter sur la réalisation d'outils et de logiciels pour une amélioration de l'évaluation a priori des mesures de gestion dynamique des voies. En effet, de récentes évaluations a priori montrent des lacunes, notamment dans le report de la congestion prévue ou par rapport au trafic attendu sur une voie dédiée comme une voie de covoiturage. Aussi, disposer d'outils d'évaluation simples mais robustes permettrait une amélioration notable des résultats relatifs aux impacts d'une mesure de gestion dynamique des voies.

Bibliographie

Barthe C. (ZELT), Création d'une voie spécialisée partagée sur la bande d'arrêt d'urgence de A48, Rapport de synthèse de l'évaluation, Conseil général de l'Isère, 2009, 27 p.

Barthe C., Daniel V. et Dupont D. (ZELT), Autoroute A1 Voie réservée aux bus et aux taxis : observation des comportements, Rapport pour le CERTU, août 2009, 36 p.

Bauer K.M., Harwood D.W. et Richard K.R., Safety effects of using narrow lanes and shoulder-use lanes to increase the capacity of urban freeways: summary report, Federal Highway Administration, Rapport n°HRT-05-001, 2005, 6 p.

Belloche S., La régulation dynamique du trafic : des solutions innovantes à déployer, Présentation au rendez-vous du CETE Nord-Picardie, CETE de Lyon, Septembre 2011, 24 p.

Besnard F., Fiche de cas : voie auxiliaire sur le tronç commun A4-A86, Fiche rédigée dans le cadre de la refonte de l'ICTAVRU, CETE Ile-de-France, 2012, 17 p.

Besnard F., Fiche de cas : Autoroute A10 - Transposition de la BAU en voie réservée aux bus, Fiche rédigée dans le cadre de la refonte de l'ICTAVRU, CETE Ile-de-France, 2012, 7 p.

Boddington K., Blakeman P. et Diels C., Managing motorways from the roadside: investigating the feasibility of using verge-mounted variable message signs to implement managed motorways, 8ème Congrès Européen sur les ITS, Lyon, 2011, 12 p.

Butel E., RER Routier de Grenoble : la Voie Spécialisée Partagée, ou comment faire préférer les transports en commun aux grenoblois, TEC n°198, avril-juin 2008, 5 p.

Caillabet B., Lefevre B. et Cohen Y., Pont de Saint-Nazaire : gestion dynamique des voies, Revue Générale des Routes et Autoroutes, 888, octobre 2010, pp.17-23

Cambridge Systematics Inc. et URS Inc., Twin cities HOV study, Rapport pour le Minnesota Department of Transportation, février 2002, 158 p.

CERTU, La gestion dynamique des voies : état de l'art et recommandations, Rapport, décembre 2009, 85 p.

CERTU, La gestion dynamique des voies (GDV) : les fiches, Rapport, décembre 2009, 226 p.

CERTU, Les aménagements multimodaux sur les voies rapides urbaines à caractéristiques autoroutières : état de l'art et perspectives, Rapport du CERTU-CETE, juillet 2011, 82 p.

CERTU, Voie réversible bus/covoiturage sur autoroute à Madrid, fiche de la collection "Gestion dynamique du trafic", fiche n°1, décembre 2011, 6 p.

CERTU, Utilisation de l'espace de la BAU : enjeux de sécurité et d'exploitation au travers d'expériences françaises et étrangères - quels critères prendre en compte, Rapport d'étude, octobre 2012, 73 p.

CERTU, La gestion dynamique des voies de circulation sur le pont de Saint-Nazaire, Fiche de la collection "Gestion dynamique du trafic", fiche n°2, mars 2013, 8 p.

CERTU, Vers un contrôle automatique du taux d'occupation des véhicules, 2014, 24 p.

Livable « Analyse bibliographique des manques dans le déploiement des mesures de gestion dynamique des voies » - SERRES Action 2

CERTU, Régulation de vitesse - Utilisation de la BAU sur la M42 en périphérie de Birmingham, Fiche de la collection "Gestion dynamique du trafic", fiche n°4, septembre 2014, 8 p.

CERTU-CETE, Voies structurantes d'agglomération : aménagement des voies réservées, Collections Dossier du CERTU, 2013, 156 p.

CERTU, Schémas directeurs d'éclairage d'un réseau routier, 2013

CETE de l'Ouest, Voie réversible du pont de St-Nazaire : évaluation à 1 an, Rapport, mai 2012, 50 p.

Chang M. et Wiegmann J. (Booz Allen Hamilton Inc.) et Bilotto C. (HNTB), A compendium of existing HOV lane facilities in the United States, FHWA, Rapport n°HOP-09-030, décembre 2008, 67 p.

Chase P. et Avineri E., Maximizing motorway capacity through hard shoulder running: UK perspective, The Open Transportation Journal, 2008, 2, pp. 7-18.

Cohen S., Impact de la voie auxiliaire sur le trafic du tronc commun A4-A86, Rapport d'évaluation pour la DIRIF, INRETS, juin 2007, 72 p.

Cohen S., Tronc commun autoroutier A4-A86 : évaluation socio-économique de l'opération, Rapport d'évaluation pour la DIRIF, INRETS, septembre 2008, 60 p.

Cohen S., Boillon P. et Le Dieu de Ville J.M., Gestion dynamique des voies : résultats d'opérations en cours et perspectives, Présentation lors du séminaire sur la régulation dynamique du trafic, MEEDDAT, mai 2008, 35 p.

Cohen S., Aron M. et Seidowsky R., A cost benefit assessment of a dynamic managed lanes operation, 12ème World Conference on Transport Research, Lisbonne, 2010, 15 p.

Collier T. et Goodin G., Managed lanes: a cross-cutting study, FHWA, Rapport n°05-037, novembre 2004, 68 p.

Deffayet C. et Pitié C., Le déploiement d'un système de réservation de voies aux véhicules à fort taux de remplissage sur la rocade de Bordeaux : rapport d'étape, CGEDD, rapport n°007153-01, février 2011, 38 p.

Désiré L., Bordel S., Adam M. et Bill D., Evaluation de la voie réversible du Pont de Saint-Nazaire : évaluation de l'impact sur le comportement de l'utilisateur, Présentation lors du séminaire SERRES 2013, mars 2013, 31 p.

DGR et DSCR, Dégager des surcapacités routières : solutions d'exploitation vues aux Etats-Unis, Mission collective d'observation juin 2005, 2006, 124 p.

Dixon C. et Alexander K., Literature review of HOV lane schemes, Rapport pour la Highways Agency, non publié, mars 2005, 39 p.

Doré J. et Piot D., Evaluation de la compréhension par les usagers de la signalisation et du mode de fonctionnement du dispositif d'exploitation dynamique du tronc commun aux autoroutes A4 et A86, Rapport d'étude pour la Direction Interdépartementale des Routes Ile-de-France, INRETS, 2008, 115 p.

EasyWay, Traffic Management Services: dynamic lane management deployment guideline, TMS-DG01Version 02-00-00, Projet EasyWay, décembre 2012, 53 p.

EasyWay, Traffic Management Services: hard shoulder running deployment guideline, TMS-DG04, Version 02-00-00, décembre 2012, 41 p.

Egis Mobilité, Analyse qualitative et diagnostic de fonctionnement de la voie spécialisée partagée de l'A48, Rapport d'étude pour le Conseil général de l'Isère, septembre 2010, 64 p.

Elvik R., Høy A., Vaa T. et Sørensen M., The handbook of road safety measures (2nd edition) ; chapitre 3.17 Reversible traffic lanes, Emerald Group Publishing Limited, 2009, pp. 481-487

FHWA, Active traffic management : the next step in congestion management, Rapport 07-012, 2007, 84 p.

FHWA, Managed lanes: a primer, Document à l'attention des autorités en charge de la gestion du trafic, 2008, 24 p.

FHWA, Federal-aid highway program guidance on high occupancy vehicle (HOV) lanes, août 2008, 37 p.

FHWA, Manual on uniform traffic control devices for streets and highways: 2009 Edition, décembre 2009, 862 p.

Goodin G., Managed Lanes Overview, Présentation au 2012 Road Vehicle Automation Workshop, AHB35 TRB Managed Lane Committee, 16 p.

Haugen T. , Evaluation of HOV-lanes in Norway, Association for European Transport, 2004, 13 p.

Helleman B. et Hernandez J., Traffic management in the Netherlands: an overview of Dutch experiences, Présentation lors du séminaire régulation dynamique du trafic, Paris, mai 2008, 61 p.

Highways Agency, Managed Motorways implementation guidance: hard shoulder running, Interim Advice Note 111/09, novembre 2009, 179 p.

Highways Agency, Managed Motorways - All lane running, Interim Advice Note 161/13, août 2013, 67 p.

Highways Consultancy Group et Highways Research Group, Managed motorway monitoring and evaluation of through junction running and safety: M42 J5 through junction running evaluation, Rapport pour la Highways Agency, janvier 2011, 64 p.

Highways Consultancy Group et Highways Research Group, M42 MM monitoring and evaluation: three year safety review, rapport pour la Highways Agency, janvier 2011, 77 p.

Jang K., Chung K., Ragland D. R. et Chan C-Y., Safety evaluation of high-occupancy vehicle (HOV) facilities in California, Intellimotion, 14, n°2, 2008, 8 p.

Jang K. et Cassidy M. J., Dual influences on vehicle speeds in special-use lanes and policy implications, University of California Berkeley, septembre 2011, 25 p.

Jones J.C., Knopp M.C., Fitzpatrick K., Doctor M.A., Howard C.E., Laragan G.M., Rosenow J.A., Struve B.A., Thrasher B.A., Young E.G., Freeway geometric design for active traffic management in Europe, FHWA et AASHTO, Rapport FHWA n°11-004, Mars 2011, 92 p.

Kuhn B., Efficient use of highway capacity summary, Report to US Congress, FHWA, 2010, 96 p.

Kuhn B., Goodin G., Ballard A., Brewer M., Brydia R., Carson J., Chrysler S., Collier T., Fitzpatrick K., Jasek D., Toyce C. et Ullman G., Managed lanes handbook, Rapport pour la FHWA n°TX-06/0-4160-24, Texas Transportation Institute, octobre 2005, 512 p.

Leiser C. et Bonet F., ADVICe : allocation dynamique des voies de circulation - Tâche 1
Identification des cas d'usage : état de l'art, Programme 190-0190-THUR-BASF du Predit, Action 13 sous action 04, 2012, 25 p.

Levecq C., Kuhn B. et Jasek D., General guidelines for active traffic management deployment: interim report, Texas Transportation Institute, Rapport UTCM n°10-01-54-1, août 2011, 47 p.

Loudon B. (DKS Associates), A domestic scan of congestion pricing and managed lanes, Rapport pour la FHWA n°09-044, avril 2009, 56 p.

Mahlawat M., Potential use of managed lanes by Texas residents, Mémoire de thèse, Texas A&M University, 2007, 155 p.

Maillard P., Chronique d'un essai pilote entre Morges et Ecublens, Route et trafic, 12, décembre 2010, 7 p.

Martin P., Levinson H.S. et Texas Transportation Institute, A guide for implementing bus on shoulder (BOS) systems, Transit Cooperative Research Program (TCRP) report 151, TRB, Washington D.C., 2012, 129 p.

Mott MacDonald, Consultation with M42 users and people living near the M42, Report n°203754_MM_008a, Highways Agency, juillet 2004, 72 p.

Mott MacDonald, BBMM 1&2 Year 3: BBMM1 Summary report, Rapport de synthèse, Highways Agency, mars 2011, 14 p.

NEARCTIS Consortium, Review of available case studies and related scientific knowledge - Deliverable 7: review of available case studies and related scientific knowledge, Ioannis Papamichail, TUC, 2011, 179 p.

OFROU, Conversion de la bande d'arrêt d'urgence en voie de circulation, Directive, ASTRA n°15 002, édition 2007, 40 p.

Parsons Brinckerhoff, Synthesis of Active Traffic Management experiences in Europe and in the United States, Rapport FHWA n°10-031, mai 2010, 35 p.

Perez B. G., Fuhs C., Gants C., Giordano R., Ungemah D. H., Priced managed lane guide, Rapport pour la FHWA n°HOP-13-007, Parsons Brinckerhoff, octobre 2012, 184 p.

Pollet A., Beubaut M. et Madier de Champvermeil P., Analyse des possibilités et des conditions d'amélioration de la circulation sur voies rapides des véhicules des lignes régulières locales de transport en commun en fonction du niveau de dégradation des conditions de circulation général, Rapport n°2003-0028-01 et 02, Conseil Général des Ponts et Chaussées, mars 2005, 49 p.

Princeton J., Pratiques innovantes d'exploitation des réseaux routiers en lien avec la mobilité durable : une nouvelle approche de l'évaluation, Mémoire de thèse, IFSTTAR - Université Paris-Est, novembre 2011, 221 p.

RGR Ingénieurs Conseils, BAU Morges Ecublens - Utilisation temporaire de la BAU : monitoring 1 an après la mise en service, OFROU, février 2012, 59 p.

Samoili S., Efthymiou D., Antoniou C. et Dumont A.G., Lane flow distribution investigation of hard shoulder running freeways, 92ème Congrès mondial du TRB, Washington D.C., 2013, 20 p.

Schijns S. et Eng P. (McCormick Rankin Corp), High Occupancy Vehicle Lanes – Worldwide lessons for European practitioners, Urban Transport XII. Urban Transport and the Environment in the 21st century, Prague, 2006, pp.181-193

SETRA, ICTAAL, instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison, circulaire du 12 décembre 2000, 60p

Sparmann J.M., Active traffic management experiences made in Hessen, Présentation au workshop on active traffic management, Seattle, juin 2007, 45 p.

Transport and travel research Ltd, Driver reaction to active traffic management (ATM)/ final report, Rapport pour la Highways Agency, janvier 2007, 36 p.

Ungemah D. et Kuhn B., Special use of shoulders for managed lanes: review of practice and research, Texas Transportation Institute, février 2009, 48 p.

Van der Aa J.P.C.M., Dynamic road marking: a tool to create infrastructure on demand, South African Transport Conference "Action in Transport for the New Millenium", juillet 2000, 11 p.

Walsh P. et Drepas A., Australie : "optimiser la capacité des autoroutes de Melbourne" système de gestion de l'autoroute Monash-Citylink-West gate, Routes-Roads, 343, 2009, 6 p.

Wolshon B. et Lambert L., Convertible roadways and lanes : a synthesis of highway practice, National Cooperative Highway Research Program Synthesis 340, TRB, Washington D.C., 2004, 105 p.

Wolshon B. et Lambert L., Reversible lane systems: synthesis of practice, Journal of Transportation Engineering, 132, 12, décembre 2006, pp. 933-944.

En plus :

Belloche S., Dedicated bus and taxi lanes on motorway: French experiments on A48 and A1, Présentation à l'EasyWay Annual Forum, novembre 2010, Lisbonne, 28 p.

Bernard G., Louah G., Voie réversible du pont de St-Nazaire : évaluation à 1 an, rapport CETE de l'Ouest, mai 2012, 50 p.

CERTU, Évaluation des projets de gestion des trafics et d'information des usagers : guide méthodologique, Version provisoire v0.5, juillet 2013, 115 p.

Chapulut J-N. et Taroux J-P., Evaluation socioéconomique des systèmes d'exploitation de la route en milieu urbain, Conseil Général des Ponts et Chaussées, Rapport n°2002-0180-01, 2004, 64 p.

Duret A., SERRES – Simulation dynamique des effets de mesures de gestion dynamique des voies, Cerema, mars 2014, 23 p.

OFROU, A1 Autoroute Lausanne – Genève : Questions/réponses sur la Bande d'Arrêt d'Urgence

Active (BAU Active) entre Morges et Ecublens, janvier 2010, 9 p.

Rijkswaterstaat, Richtlijnen en voorschriften bij toepassing bus op vluchtstrook (Guidelines and regulations for use of bus on hard shoulder), octobre 1991, 35 p.

Connaissance et prévention des risques – Développement des infrastructures – Énergie et climat – Gestion du patrimoine d'infrastructures – Impacts sur la santé – Mobilités et transports – Territoires durables et ressources naturelles – Ville et bâtiments durables

Document consultable et téléchargeable sur le site <http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr/>

Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.

En cas de reproduction partielle, l'accord préalable de l'auteur devra être demandé.

Référence : 14XXw – ISRN : XXXXXXXXX