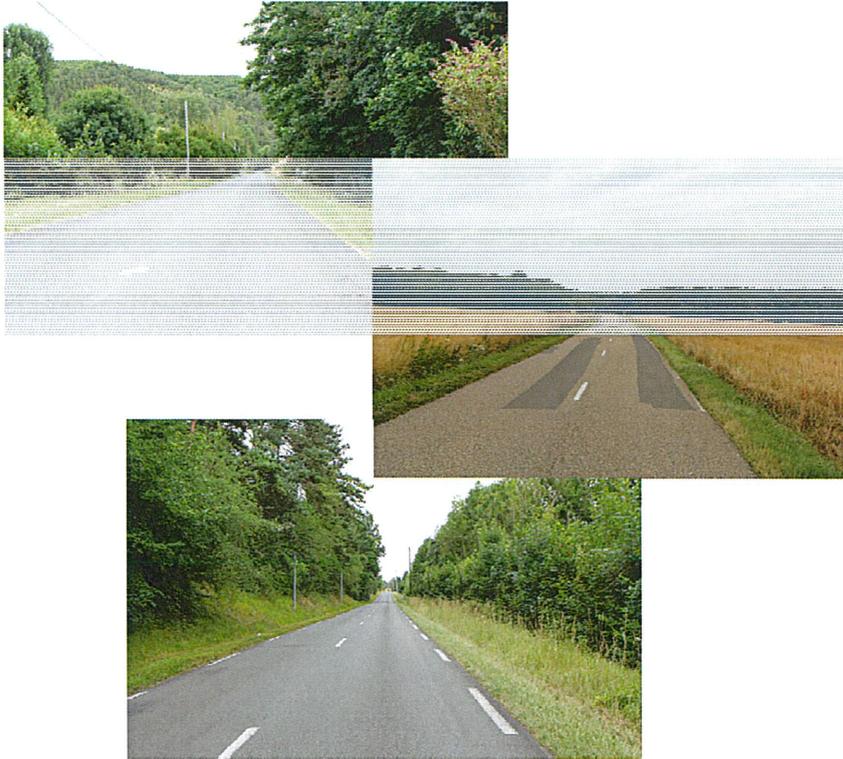


PROFIL - Profil de la ROute comme Facteur d'Influence de la Lisibilité de l'infrastructure et son effet sur la trajectoire

État de l'art



ROSEY Florence

Projet financé par la Fondation Sécurité Routière

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
Version2	28.07.2015	Relecteurs : E. Violette (GESM) ; O. Bisson (GSR)

Affaire suivie par

Rosey Florence - DITM-GESM/ERA34
<i>Tél. : 02 35 68 88 29 / Fax : 02 35 68 81 23</i>
<i>Courriel : florence.rosey@cerema.fr</i>

Rédacteur

Florence ROSEY – DITM-GESM/ERA34

Crédit carte

XXXXXX xxxxxx

Crédit image couverture

Rosey Florence/DTerNC, 2015

Liste des abréviations et Acronymes

n.d. - no date, le document cité n'a pas de date connue.

c.-à-d. - c'est-à-dire

par ex. - par exemple

NDLA - Note de l'auteur

2RM - Deux-roues motorisés

Cerema - Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (fusion des 8 CETE, du Certu, du Cetmef et du SETRA)

DSCR - Délégation à la Sécurité et à la Circulation Routière

FSR – Fondation Sécurité Routière

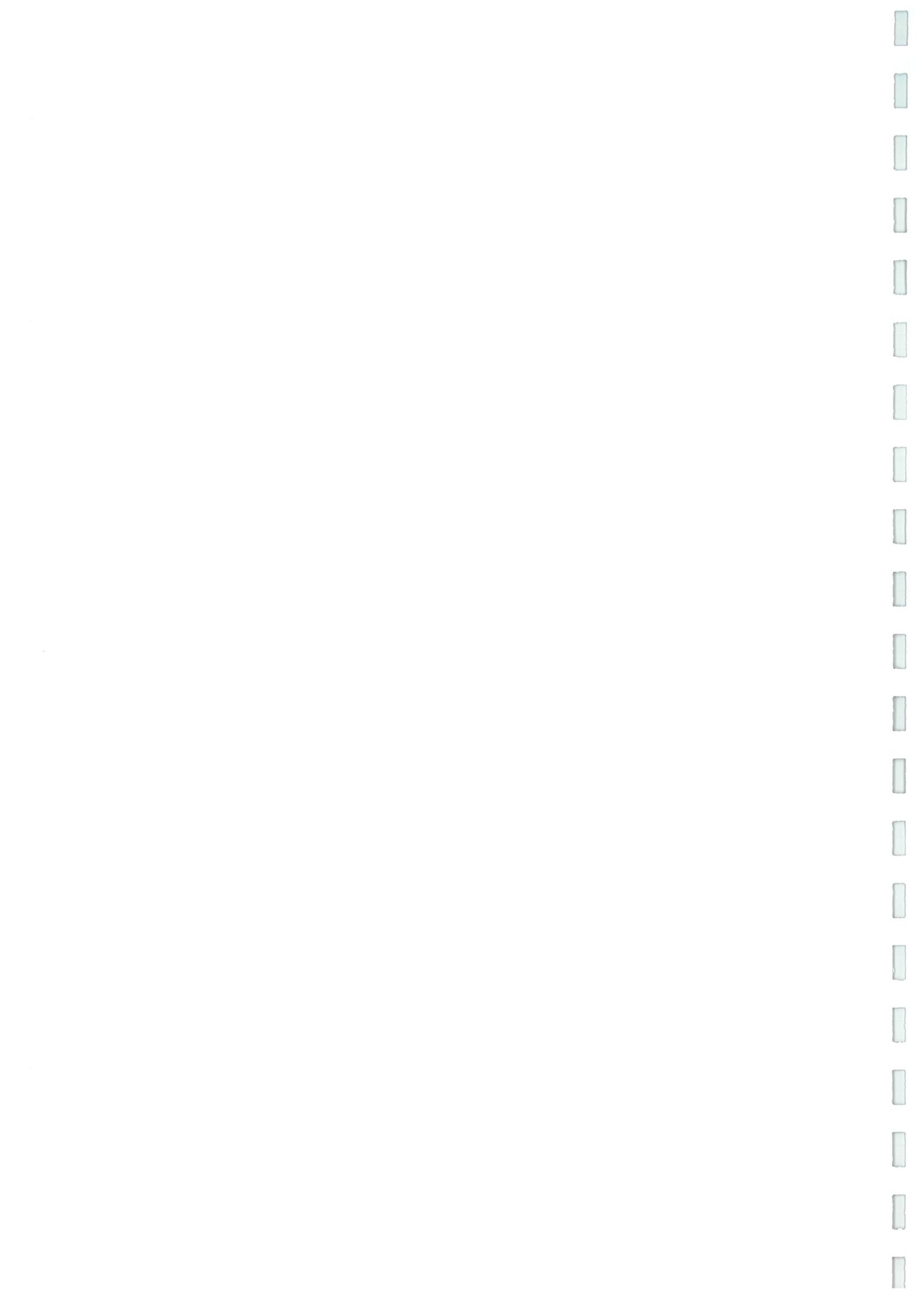
ÉRA - Équipe de Recherche Associée

NDLA - Note de l'auteur

PT – Profil en Travers

TMJA – Trafic Moyen Journalier Annuel

VL - Véhicule Léger



SOMMAIRE

1. Introduction générale	1
2. Introduction	2
2.1. Contexte et intérêts de la recherche.....	2
2.2. Profil en travers (espace roulant) et accidents	8
2.3. Profil en travers (espace roulant et position latérale, inter-distance ou effet de friction)	11
2.4. Position latérale, inter-distances et marquage de rive, largeur de voie, configuration des accotements	16
3. Conclusion	18
Références	19

1. INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le présent livrable fait partie du projet FSR PROFIL - Profil de la ROute comme Facteur d'Influence de la Lisibilité de l'infrastructure et son effet sur la trajectoire.

Le projet PROFIL vise à identifier, mesurer et quantifier l'influence du profil en travers sur les trajectoires (c.-à-d., position latérale et vitesse, principalement sur les positions latérales) des usagers de la route et sur les inter-distances (« frontales » et latérales) dans différentes situations de conduite (par ex., véhicule isolé, véhicule croiseur, véhicule dépassé et dépassant, trafic modéré à chargé) en condition réelle et en réalité virtuelle. Cette approche permettra de produire des éléments de recommandation à destination des gestionnaires afin de modifier le comportement des conducteurs par leur perception de l'environnement routier (ici, le profil en travers).

L'état de l'art (tâche 1) visera à :

- réaliser une synthèse des connaissances sur les relations entre la largeur du profil en travers et d'une part les positions latérales, et d'autre part les vitesses pratiquées,
- identifier les domaines d'emploi et les évaluations réalisées sur les modifications des largeurs de voie ou surlargeurs.

L'état de l'art permettra également de contribuer à la mise au point des scénarios étudiés dans les tâches 2 à 4. Il a notamment alimenté le protocole expérimental de la tâche 3 (étude sur simulateur de conduite).

NDLA. Les documents utilisés étant presque exclusivement anglo-saxons et surtout américains, lorsque nous parlerons de milieu urbain (*urban environment*), d'autoroutes de rase campagne (*rural freeway*)..., le lecteur devra garder à l'esprit que derrière les expressions françaises, il y a un contexte anglo-saxon, excepté lorsque nous spécifierons « en France... ». De ce fait :

* « bidirectionnelle » fera référence à toutes les routes à chaussées non-séparées à une voie ou plusieurs, qu'elles soient des autoroutes (*highways*) ou non (*two-lane, multi-lane*). Le terme américain sera précisé entre parenthèses.

* « rase campagne » (cf. encadré) fera référence aux routes hors agglomération (*rural two-lane roads, rural roads, rural highways...*).

Milieu urbain et rase campagne : États-Unis vs France

États-Unis. Le milieu urbain (*urban area*) correspond aux zones où la densité de population est supérieure à 1000 personnes par km². Les zones rurales (*rural*, dans le document « rase campagne ») sont les autres zones.

France. Le milieu urbain correspond à « l'ensemble des réseaux à l'intérieur d'une agglomération définie au sens du Code de la route comme étant la partie de route située entre deux panneaux d'entrée et de fin d'agglomération, quelle qu'en soit la taille » (ONISR, 2010, p.125). La rase campagne correspond au reste du réseau situé hors agglomération (ONISR, 2010).

2. INTRODUCTION

2.1. Contexte et intérêts de la recherche

Le projet PROFIL rentre dans le cadre notamment de la réflexion, qui a lieu actuellement en France dans le domaine routier, sur la mise en sécurité d'un itinéraire (et pas uniquement d'un point singulier), notamment par l'implantation de dispositifs d'alerte audio-tactiles afin de diminuer les accidents résultant de sortie de voie par la droite (par ex., projet ANR RoadSense, RoadSense, 2013) et sur le partage de la route existante aux différents modes de déplacement. Dans un contexte économique fortement contraint et dans une logique de développement durable, cette mise en sécurité et ce partage ne peuvent pas être créés via un élargissement des plates-formes existantes (Figure 1).

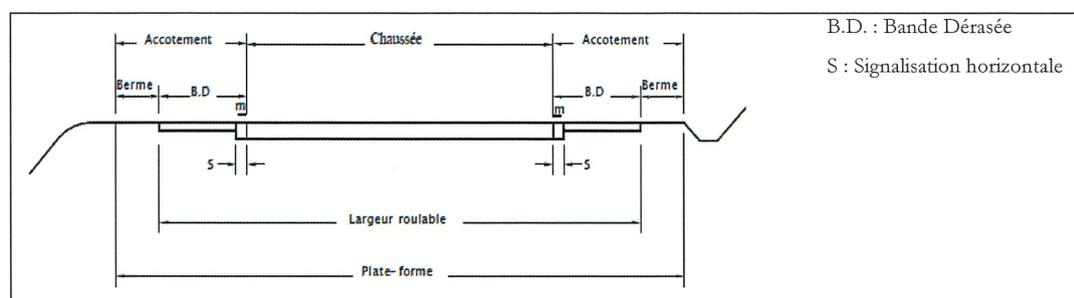


Figure 1 – Schéma de principe d'une plate-forme de route bidirectionnelle (Rosey & Moisan, 2011, p.13). La plate-forme est un des éléments du profil en travers, et c'est la surface de la route qui comprend la ou les chaussée(s), les accotements et le terre-plein éventuel (Setra, 2006), et des pistes spéciales éventuelles pour piétons et cyclistes (Accord Européen Grandes Routes, 2008).

C'est la problématique de la vitesse, qui représente 20-25 % des accidents mortels (Armor & Cinquegrana, 1990 ; Haworth & Rechnitzer, 1993 ; Rasanen, 2005) qui reçoit le plus d'attention de la part des autorités et des chercheurs depuis plusieurs années. Faire respecter la vitesse maximale autorisée, réduire les excès de vitesse et les vitesses inadéquates, en vue de garantir une meilleure sécurité pour tous les usagers de la route, est dans 34 % des pays une priorité absolue et pour 35 % des pays, il s'agit d'une priorité assez importante (CEDR, 2006). En France, si le bilan 2008 (ONISR, 2009) montre que les vitesses moyennes continuent de diminuer (c.-à-d., 80,6 km/h en 2008, 81,5 km/h en 2007) depuis 2005, la contribution de la baisse de la vitesse dans la baisse du nombre d'accidents se stabilise. Dès lors, la trace¹ et la position latérale (c.-à-d., deux paramètres de la trajectoire, cf., encadré) apparaissent être une piste de recherche en sécurité routière, d'autant plus qu'en France, 40 % des tués sur la route le sont à la suite d'un accident sans tiers et que dans 90 % des cas, il s'agit d'une perte de contrôle du véhicule, qui aboutit généralement à une collision contre un obstacle rigide en bord de chaussée (ONISR, 2010). De plus, la variabilité des positions latérales est une mesure reconnue de la performance de conduite pour décrire la dimension « sécurité » des changements dans les comportements de conduite (McGehee et al., 2004). Par ailleurs, des études sur la largeur de chaussée montrent que le nombre de voies influence fortement la perception de sécurité et les vitesses pratiquées des conducteurs (Fildes et al., 1987, 1989). Une étude d'évaluation de l'impact sur les trajectoires des conducteurs de la réduction de la largeur de voie au profit d'une bande multifonctionnelle, réalisée sur route bidirectionnelle par le CETE Normandie-Centre (2006), a montré que cette réduction n'influait pas les vitesses, que les automobilistes se recentraient sur leur voie, et que la position latérale des automobilistes était influencée par les véhicules croiseurs. Ces résultats ont

¹ La trace est la projection sur l'espace roulable de chemin parcouru par le centre de gravité d'un véhicule (Oliveiro & Jacob, 2006).

été confirmés dans une étude en réalité virtuelle sur un profil en travers (PT) différent (Rosey et al., 2009). Que ce soit sur route ou sur simulateur de conduite, la réduction de la largeur des voies par marquage incite les conducteurs à se positionner plus au centre de leur voie et n'impacte pas leur vitesse.

Trace, Trajectoire

La trajectoire (déterministe) d'un véhicule est la fonction continue de R^+ dans R^3 (resp. R^6) qui à tout instant t associe la position dans l'espace du centre de gravité du véhicule représenté par un point pesant (resp. la position du centre de gravité et les angles d'Euler d'un véhicule rigide). On suppose généralement que les trajectoires sont des fonctions dérivables au moins à l'ordre 2 ou 3 (existence d'accélération, voire de jerk), donc de classe C^2 ou C^3 (en supposant en outre ces dérivées continues). La représentation et l'étude des trajectoires incluent la prise en compte des dérivées d'ordre 1 à 3, nommées respectivement vitesse, accélération et jerk, et qui interviennent dans les états limites liés au confort et à la sécurité des véhicules (Olivero & Jacob, 2006, p. 17).

La trajectoire d'un véhicule est donc l'ensemble des points successifs de l'espace que le centre de gravité de ce véhicule occupe accompagné des instants t de passage en ces points (Buisson & Lesort, 2010). Chaque point de la trajectoire peut être repéré dans un espace selon les dimensions : $x, y, z, x', y', z', x'', y'', z''$. On utilise principalement les dimensions x (position longitudinale ou trace), y (position latérale qui déterminée par rapport à un point de référence, par ex., axe de la route, centre de la voie...) et x' (la vitesse pratiquée par le véhicule*). La trajectoire d'un véhicule peut être obtenue soit à partir de mesures à chaque pas de temps de la position, soit à partir de mesures des instants de passage en des points régulièrement espacés de la route.

* En toute rigueur, la vitesse devrait être celle d'entre deux points de la trace.

Néanmoins, en sécurité routière, si les conséquences négatives des changements dans le positionnement latéral des conducteurs (par ex., collisions contre obstacles, collisions frontales) sont relativement bien connues, les causes (par ex., véhicules croiseurs, largeur de voie, absence *vs* présence de marquage...) et les processus perceptifs sous-jacents ne sont pas clairs.

Le conducteur adapte sa conduite (c.-à-d., trajectoire : position latérale et vitesse) à la perception qu'il a de la route et de son environnement. Son adaptation est influencée par différents facteurs : le trafic, les caractéristiques géométriques de la route (par ex., largeur de chaussée, nombre de voies, sinuosité), le niveau d'équipement de la route (par ex., dispositifs de retenue, borne d'appel...), l'environnement de la route (par ex., milieu urbain, milieu interurbain, plaine, montagne) et la signalétique spécifique (par ex., panneaux directionnels, panneaux à messages variables, signalétique des sorties) (SETRA, 2006).

La dimension vitesse de la trajectoire est très documentée et des modèles ont été établis quant aux facteurs et leurs interactions qui influencent le conducteur dans son choix de vitesse (figure 2) : les caractéristiques de la route, le trafic, les conditions météorologiques, le jour et l'heure, la limitation de vitesse et son application ; la longueur et le motif du trajet ; les caractéristiques du véhicule (par ex., maniabilité, freinage, consommation, confort...) et les facteurs liés au conducteur (par ex., la propension à prendre des risques, le plaisir de conduire vite, la fatigue, le taux d'alcoolémie...) (TRB, 1998).

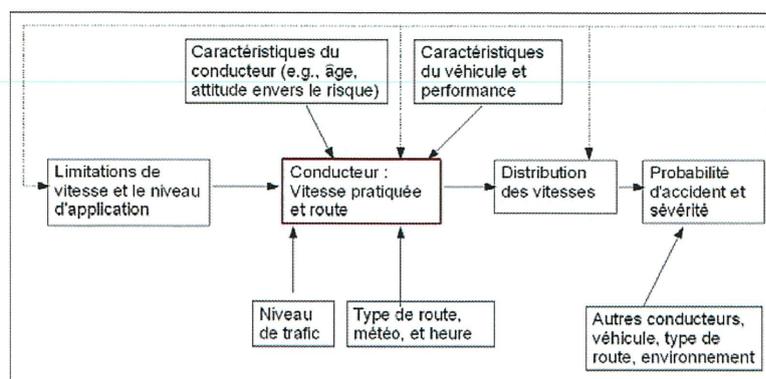


Figure 2. Schéma des relations entre les différents facteurs qui influencent la vitesse pratiquée du conducteur et la sécurité (à partir de TRB, 1998, p.25).

Les caractéristiques de la route (par ex., nombre de voies, largeur de voie, géométrie, marquages) impactent aussi la vitesse pratiquée. Communément les conducteurs circulent plus vite sur les routes à quatre voies qu'à deux voies, sur les lignes droites que dans les virages. Une étude réalisée en France (Gambard & Louah, 1986) a montré que seules des valeurs contraignantes des paramètres géométriques (rayon en plan, largeur de chaussée, déclivité) affectaient de façon significative les vitesses pratiquées en section courante de rase campagne. Le volume et la densité du trafic augmentant, la vitesse pratiquée diminue (New Zealand, 2000). Des études ont montré que c'est la largeur perçue qui est importante dans la relation entre la largeur de la chaussée et la vitesse (par ex., Charlton & Baas, 2010). Les vitesses pratiquées résultent d'un choix individuel, influencé par trois catégories de facteurs : la route, le trafic et l'environnement, et le conducteur (par ex., TRB, 1998 ; Wilmot & Khanal, 1999).

Si le lien entre l'infrastructure et les vitesses pratiquées est très bien documenté, les connaissances sur l'effet du profil en travers (PT) sur les autres observables du comportement du conducteur (c.-à-d., positions latérales et inter-distances) sont aujourd'hui très imparfaites, voire inexistantes et si elles sont accessibles, elles le sont principalement de manière indirecte.

L'acception intuitive est que plus les usagers ont de la place pour circuler, plus ils circulent avec des vitesses élevées. Concernant les inter-distances latérales, l'acception est que plus elles sont importantes, plus les dépassements se feront en sécurité (les usagers ayant davantage d'espace pour réaliser leur manœuvre). La littérature montre en fait que ce n'est pas aussi simple que cela.

Des connaissances quant à l'existence d'une relation entre le profil en travers, la nature du trafic (VL, PL, 2RM, Vélo...) et son volume, et à l'évolution de cette relation permettraient, dans un contexte économique de plus en plus contraint, dans une logique de développement durable et d'intermodalités, une sécurisation dans l'optimisation des infrastructures et une optimisation dans la sécurité. Ces connaissances permettraient notamment d'améliorer les modèles utilisés dans la simulation de trafic dans le domaine de l'exploitation. L'idée est de savoir jusqu'où l'on peut optimiser les infrastructures sans dégrader la sécurité des déplacements, la cohérence des informations données aux usagers, tout cela dans une boucle vertueuse de développement durable. Ces connaissances permettraient d'élaborer des politiques objectives pour le développement d'une mobilité intermodale réfléchie et durable.

Dans le prolongement de cette recherche sur la redistribution du PT et de la réduction de la largeur de voie au profit de bandes multifonctionnelles, le simulateur de conduite permettrait d'expérimenter de nouvelles répartitions du profil en travers et notamment de l'espace roulant

disponible dans une logique de pré-prototypage ou de présélection de configurations de profil en travers. Il permettrait aussi d'apporter des éléments de connaissance sur les effets d'une réduction du profil en travers (par ex., jusqu'où l'espace roulant peut être redistribué, selon le type de route et son environnement).

À notre connaissance il n'y a pratiquement pas, voire pas d'études sur l'influence de la modification ou de la redistribution du profil en travers sur les positions latérales des conducteurs ou sur l'accidentalité, ou sur le lien entre l'optimisation *vs* la redistribution du profil en travers et les accidents de la route ou au niveau de l'exploitation (cf encadré). Lorsque les données, les connaissances existent concernant la position latérale, elles sont presque exclusivement accessibles de manière indirecte. En effet, les statistiques d'accident et les modèles de capacité des infrastructures sont basés sur les catégories d'infrastructure types (par ex., se basant sur les guides de conception dans lesquels les profils en travers sont typiques). À notre connaissance, il n'existe pas de modèle décrivant ou explicitant la relation entre les types de profils en travers et l'accidentalité ou la capacité d'une infrastructure². La production de connaissances quant à cette relation permettrait d'élaborer des modèles avec lesquels il serait possible de simuler l'influence d'un profil en travers particulier ou d'un type de redistribution d'un profil en travers sur l'accidentalité selon la nature du trafic et sur la capacité d'une infrastructure. Modèles qui pourraient être utilisés dans une optique d'optimisation d'une infrastructure. Par exemple, dans le cas de chaussées séparées construites dans un espace contraint (par ex., milieu urbain) peut aboutir à une BAU très réduite, inutilisable du fait d'un espace contraint. Une meilleure connaissance de la relation accident, profil en travers selon les types d'infrastructure permettrait d'optimiser au mieux ce type de chaussées séparées, l'idée étant au final de récupérer une largeur de BAU, lui permettant de « retrouver » sa fonction.

Études concernant la redistribution du profil en travers

Les seules études trouvées concernant spécifiquement la redistribution du profil en travers dans une logique de rétrécissement de la largeur de voie sont des études françaises. Ces études ont montré que la réduction de la largeur des voies sur routes bidirectionnelles avec un espace roulant de 6,60 à 7 m recentre les conducteurs sur leur voie (c.-à-d., les éloignent de l'axe de la route) et n'influence pas les vitesses (CETE-NC, 2006 ; Rosey et al., 2009). Un groupe d'études françaises (par ex., Auberlet et al., 2010 ; Auberlet et al., 2012 ; Rosey et al., 2009) sur des mesures perceptives afin de recentrer les conducteurs lors du franchissement d'un sommet de côte, réalisées en situation réelle et en réalité virtuelle, a montré que la mise en œuvre d'accotements revêtus au droit d'un sommet de côte recentrait les conducteurs sur leur voie et n'influait pas les vitesses.

La problématique du profil en travers et sa relation avec les inter-distances latérales est fortement développée en ce qui concerne les cyclistes. Des recommandations existent quant au lien entre la largeur des voies, la présence ou non de pistes cyclables et les inter-distances latérales lors des dépassements de cyclistes afin que leur sécurité soit garantie, même si on arrive à des incohérences sur un itinéraire (c.-à-d., interruptions des pistes cyclables) ou des réductions de capacité de l'infrastructure pour un trafic vélos presque inexistant. Par exemple, en France, il est stipulé dans le code de la route que lors d'un dépassement, le conducteur ne doit pas s'approcher latéralement à moins d'un mètre en agglomération et d'un mètre et demi hors agglomération s'il

² NDLA. Que ce soit dans le Highway Capacity Manual (TRB, 2000), ou en France, dans « Comprendre le trafic routier - méthodes et calculs » (Buisson & Lesort, 2010) ou « Ingénierie du trafic routier : éléments de théorie du trafic et applications » (Cohen, 1990) la largeur du PT n'est récupérable que de manière indirecte, voir n'est pas récupérable ou prise en compte.

s'agit d'un véhicule à traction animale, d'un engin à deux ou à trois roues, d'un piéton, d'un cavalier ou d'un animal (Article R414-4).

Aux États-Unis, les accidents par sortie de voie sont davantage représentés sur les routes bidirectionnelles de rase campagne (*rural two-lane highways*), particulièrement sur les routes bidirectionnelles étroites (en Louisiane, pour l'année 2003, Gunay, 2007). Les collisions latérales avec frottement (*sideswipe collisions*) étaient légèrement plus nombreuses sur les routes bidirectionnelles étroites alors que les collisions frontales étaient distribuées de manière homogène (Gunay, 2007). Najm et al. (2007 in Deroo et al., 2013) ont observé que les accidents par sorties de voies sans manœuvre du véhicule est le deuxième type d'accidents le plus fréquent chez les véhicules de tourisme. Les accidents par sortie de voie est le type d'accident le plus fréquent sur les routes bidirectionnelles étroites (*narrow two-lane highways*) : ils représentent près de 60 % de la totalité des accidents (Sun et al., 2014). L'implantation d'un marquage de rive recentre les conducteurs et diminue significativement les sorties de voies et les collisions frontales (Sun et al., 2014). En Louisiane, pour l'année 2010, 34 % des accidents mortels et 35 % des tués sont survenus sur routes bidirectionnelles de rase campagne (*rural two-lane highways*) (Sun et al., 2014).

Au niveau européen, 80 % des accidents se répartissent en 4 catégories : accidents sans tiers (accidents n'impliquant qu'un seul véhicule, par ex., sorties de route ou collisions contre obstacle) ; collisions frontales entre deux véhicules ; collisions en intersections et accidents impliquant les usagers vulnérables. Les accidents sans tiers (directement liés au contrôle de la trajectoire) représentent 48 % des types d'accidents (OECD, 1999) et 32 % des accidents mortels en Europe (ERSO, 2011).

En France, le nombre de personnes tuées sur les routes a été réduit de 44,3 % depuis 2002 et le risque d'être tué sur les routes a été pratiquement divisé par deux (ONISR, 2009). Si l'on regarde dans le détail, deux-tiers des tués sur les routes le sont sur les routes de rase campagne (c.-à-d., 62,4 % des tués, ONISR, 2009), l'autoroute restant la route la plus sûre (c.-à-d., 5,3 % des tués, ONISR, 2009).

En France, 40 % des tués sur la route le sont à la suite d'un accident sans tiers. Dans 90 % des cas, il s'agit d'une perte de contrôle du véhicule, qui aboutit généralement à une collision contre un obstacle rigide en bord de chaussée (ONISR, 2010). De plus, la proportion des tués suite à une collision contre obstacle (c.-à-d., 12 %) n'a pratiquement pas évolué depuis 10 ans (ONISR, 2010). Nous retrouvons l'impact de l'infrastructure, tant par son type que par sa géométrie. En effet, les collisions sans tiers contre obstacle fixe sont plus nombreuses sur les routes bidirectionnelles de rase campagne : 49 % surviennent sur routes départementales, 30 % sur routes communales, et 7,5 % sur routes nationales. Elles surviennent à 12 % sur autoroutes. En ligne droite, ce type de collision représente 50,5 % des personnes tuées et 48 % en courbe (à partir de ONISR, 2010).

Néanmoins, en sécurité routière, les causes des changements dans le positionnement latéral des conducteurs ne sont pas claires, et le lien entre ces changements et le profil en travers dans la survenue d'accident n'est pas clair, voire n'est pas cherché.

Si les accidents de la route sont dus à des erreurs humaines (Van Elslande, 1992) dans 90 % des cas (Dewar & Olson, 2002 ; Department for Transport, 2007), la configuration de l'infrastructure a été identifiée comme une cause des accidents contribuant en moyenne à 30 % (Rumar, 1985 ; O' Cinneide, 1998). De plus, un rapport belge (Road Federation Belgium, 2002) a montré que 20 % des accidents étaient liés à la configuration de la route et 15 % à liés aux abords. L'influence de la configuration de la route sur les comportements des conducteurs a été soulignée par des études de Saad (Saad, 1989, 1992).

Les recherches sur les processus perceptifs ont montré, entre autres, que la géométrie de la route influence le contrôle du regard (par ex., Land & Lee, 1994) et qu'une même géométrie de route peut, avec un environnement différent, influencer la perception du conducteur (Vaniotou, 1990 ; Bressan et al., 2003). Cette influence a été soulignée par des études montrant que les aménagements de parc municipaux, des abords des routes, pouvaient réduire le stress lié au voyage et augmenter la sécurité du trafic (par ex., Topp, 199 ; Mok et al., 2005) et qu'un changement d'éclairage ou que l'éclaircissement des murs d'un tunnel (par ex.) pouvait réduire le sentiment d'inconfort lors de la prise d'un tunnel (Marec, 1994).

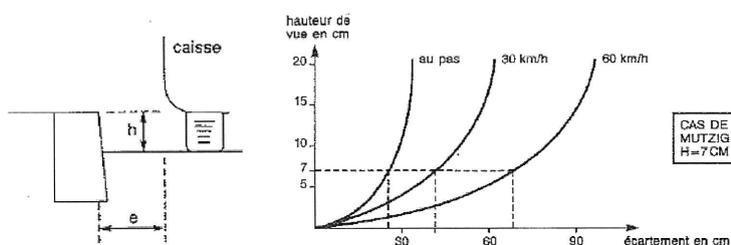
La production de connaissances sur l'influence de la modification du profil en travers sur les positions latérales des conducteurs, des inter-distances latérales et « frontales » est d'autant plus importante que le rétrécissement et la réduction des largeurs de voie sont des mesures utilisées (avec des résultats contradictoires dans la littérature) dans l'optique de la réduction de vitesses pratiquées. Dans la relation entre la largeur de la chaussée et la vitesse, c'est la largeur perçue qui est importante (par ex., Charlton & Baas, 2010).

Les rétrécissements sont généralement constitués par des éléments verticaux (par ex., plantations, mobilier urbain ...) afin d'attirer l'attention sur le rétrécissement et les limites visuelles de l'espace (CERTU, 2009). Toutefois, il faut les employer avec précaution car pour se croiser, deux véhicules ont besoin à la fois d'une marge de manœuvre et d'une marge de sécurité. La première s'applique aux éléments fixes : bordures, véhicules en stationnement, obstacles ; elle induit la notion d'effet de paroi (cf. encadré). La seconde concerne la présence des autres usagers : espaces entre véhicules lors du croisement ou du dépassement. Ces marges croissent de façon sensiblement linéaire avec la vitesse (CERTU, 2008, p1).

Effet de paroi

Il est souvent question d'effet de paroi mais il n'y a pas à notre connaissance d'étude sur l'effet de paroi proprement dit. Toutefois,

- dans l'ouvrage « Ville plus sûre, quartiers sans accidents : savoir-faire et techniques » du CÉTUR (1990) l'effet de paroi est abordé au niveau des hauteurs des bordures. Il est écrit que les conducteurs (c.-à-d., voiture et 2RM) réduisent leur vitesse si l'espace est restreint³, ils s'écartent de la bordure si l'espace est dégagé. De plus, il n'y a pas de règle générale de la relation hauteur de vue-vitesse-écartement mais à partir d'observations faites sur un site donné, on obtient (CÉTUR, 1990, p181):



Note. Sachant que les valeurs d'espacement latéral (c.-à-d., e) par rapport au bord de la voirie au niveau du sol sont (CERTU, 2009, p.159) :

Vitesses	Sans piétons ou avec séparation infranchissable (m)	Avec piétons sans séparation (m)
70 km/h	0,50 m	----
50 km/h	0,40 m	0,50 m
30 km/h	0,20 m	0,30 m
Au pas	0,10 m	0,10 m

³ NDLA. Il n'y a pas de définition d'un espace restreint.

- dans le document « Recommandations pour la conception des tunnels urbains à gabarit réduit (RECTUR) » du CÉTU,

[...] l'effet de paroi" caractérise le fait qu'un véhicule doit nécessairement rester à une certaine inter-distance du parement d'un tunnel, pour que le conducteur ne ressente pas une impression d'inconfort ou d'appréhension. Cette inter-distance se mesure à la hauteur de vision latérale du conducteur, fixée ici à 1 m au-dessus de la chaussée (CÉTU, 1995, p.34).

L'inter-distance minimale à conserver entre le véhicule au milieu de sa voie et la paroi, à 1 m de hauteur, est estimée à 1,20 m à droite comme à gauche. Cette estimation a été réalisée à partir de mesures de positionnement des véhicules circulant dans différents ouvrages souterrains.

Dans le cas du tunnel principal, la valeur de 1,20 m sera considérée aussi bien pour la vitesse de référence de 60 km/h que la vitesse de référence de 80 km/h. Dans le cas particulier des rameaux de liaison, cette valeur pourra être réduite à 1 m lorsque la vitesse pratiquée sera inférieure à 60 km/h (CÉTU, 1995, p.34).

2.2. Profil en travers (espace roulant) et accidents

Aux États-Unis, les accidents par sortie de voie représentent un enjeu important : 75 % des accidents mortels sont sur routes bidirectionnelles étroites de rase campagne (c.-à-d., <6,10 m). En général, le pourcentage d'accident mortel diminue comme la largeur de la route augmente (Gunay, 2007).

Knuiman et al. (1993) ont montré que, sur une 4 voies (c.-à-d., deux voies dans chaque sens sans séparation centrale physique verticale mais bande médiane, *median width*), le nombre de collisions frontales diminuait avec l'augmentation de la largeur de la bande médiane. De plus, la fréquence des accidents augmente avec le trafic, le degré de la courbe, longueur de section alors que la fréquence des accidents diminue avec la largeur des voies, de la bande médiane et des accotements (Abdel-Aty et al., 2000).

Sun et al. (2014), dans une étude sur l'implantation de marquage en rive, ont montré que la distribution des types de collisions change après l'implantation de marquage de rive avec une plus forte diminution pour les accidents par sortie de voie (sans tiers, *single-vehicle crashes*). Spécifiquement, les accidents sans tiers (*single-vehicle crashes*) diminuent de 13 % après implantation de marquage de rive, les collisions arrières de 4 % et les cisaillements par la droite (*right-angle crashes*) de 20 % contrairement aux tourne-à-gauche qui augmentent de 16 %. La diminution des collisions frontales était très encourageante. Concernant la largeur des chaussées, l'étude des accidents par an, de 2005 à 2011 a montré : une diminution de 4 % des accidents pour toutes les largeurs de chaussées, 1,3 % des accidents pour les largeurs supérieures ou égales à 6,10 m et inférieures à 6,70 m pendant la période de l'étude. Toutes les sections étudiées appartiennent à ce groupe de largeur de chaussée. La diminution totale attendue par l'implantation de marquage de rive est de 15 %. L'implantation de marquage de rive diminue aussi la variabilité des vitesses pratiquées. Les rapports coûts-bénéfices encourageants suggèrent que les marquages de rive peuvent être implantés sur les sections avec des taux élevés d'accidents par sortie de voies ou sortie de chaussée (*run-off roads*) même si le MUTCD ne légitime pas leur implantation compte-tenu des volumes de trafic qui sont faibles sur les autoroutes de rase campagne (*rural highways*).

Edholm et Roosmark (1969 in VTT, 2000) ont indiqué que la fréquence des accidents sur les chaussées de 6-6,5 m était supérieure à celle sur chaussée de 7-8,5 m. Une étude danoise (Vejdirektoratet, 1980 in VTT, 2000) relate que les taux d'accidents sont plus faibles sur les chaussées de 7-8 m de large que sur les chaussées de 8-9 m et > à 9 m, même si sur les chaussées de 8-9 m et > à 9 m, les taux d'accidents ressemblaient à ceux sur les chaussées de 7-8 m. L'étude de Brannolte et al. (1993 in VTT, 2000) a montré que des voies étroites (<3,5 m) conduisent

clairement à des taux d'accidents et des taux du coût des accidents plus élevés. Ce sont les sorties de voies par la droite, les collisions frontales et les collisions latérales avec frottement (*sideswipe collisions*) qui sont le plus liées aux caractéristiques du profil en travers (PT) (Zegeer, 1987 in VTT, 2000). Un élargissement de 0,3 m réduirait ces types d'accident de 12 %, un élargissement de 0,6 m les réduirait de 23 %, un élargissement de 0,9 m les réduirait de 32 % et un élargissement de 1,2 m les réduirait de 40 % (Zegeer, 1987 in VTT, 2000). Ces résultats sont valables pour des routes bidirectionnelles avec des voies entre 2,4 m et 3,7 m, et avec un TMJA de 100 à 10 000 véh./jour mais ils peuvent être surestimés.

Au Danemark, l'étude de Edholm et Roosmark (1969 in VTT, 2000) indiquait que les accotements revêtus étaient bénéfiques pour la sécurité pour des chaussées de 6 m (accotement d'1 m) et de 7 m (accotements < à 2 m et ≥ à 2 m) et ce pour tous les trafics. L'étude danoise de Vedjirektoratet (1984 in VTT, 2000) a conclu que pour les chaussées de 6,5 m à 8 m des accotements élargis de 0,2 à 0,5 m montrent une diminution significative des risques d'accidents de 25 %, et de 40 % pour les piétons et les cyclistes. Un élargissement supérieur à 0,9 m n'aboutissait pas nécessairement à un gain supplémentaire ; de plus un effet sur les taux d'accident n'était pas observé. Néanmoins une diminution supplémentaire de 20 % était observée pour les accidents piétons et cyclistes. En Allemagne, Brannolte et al. (1992 in VTT, 2000) ont observé que sur les routes bidirectionnelles équipées d'accotements, il y avait une diminution de 10 % des accidents et de 10 à 17 % des coûts des accidents pour les accidents corporels et dans la gravité des accidents comparativement aux routes bidirectionnelles non équipées d'accotements

Aux États-Unis, Foody et Long (1994 in VTT, 2000) ont trouvé que le taux moyen d'accidents sur les routes bidirectionnelles équipées d'accotements stabilisés était inférieur à celui sur les routes bidirectionnelles équipées d'accotement non-stabilisés. Plus particulièrement, les résultats indiquaient que les accotements revêtus stabilisés ou revêtus étaient plutôt efficaces dans la diminution du nombre de sorties de voies sur routes étroites, typiquement ≤ à 6 m mais avaient seulement un effet réduit sur les routes d'une largeur ≥ 7,2 m.

Afin de diminuer les accidents sans tiers, les accotements revêtus apparaissent comme une solution efficace (par ex., Armour & McLean, 1983, Zegeer et al., 1994, Elvik et al., 2009) et ce, pour un grand panel de trafics et de largeur d'accotements (Armour & McLean, 1983) et même pour tous les types d'accidents, les sorties de voie et les accidents avec le sens de circulation opposé (Zegeer et al., 1979). L'efficacité des accotements s'explique du fait qu'ils fournissent un espace pour manœuvrer et se récupérer. L'efficacité des accotements est plus importante lorsqu'ils sont revêtus car le fait d'être revêtus réduit la probabilité qu'un conducteur qui sort de sa voie perde le contrôle de son véhicule lorsqu'il roule sur l'accotement. Des études américaines ont conclu que sur les routes équipées d'accotements, il y a 30 % d'accidents en moins comparativement aux routes non équipées (Rogness et al., 1981 in VTT, 2000).

De plus, avec des trafics faibles (c.-à-d., TMJA < à 3000 véh./jour) il y a significativement moins d'accidents sans tiers, ce qui pour les auteurs révèle l'efficacité des accotements revêtus en fournissant une zone de récupération. À trafic modéré (c.-à-d., TMJA de 3000 à 5000 véh./jour) l'ajout d'accotements réduit à la fois le nombre d'accidents et leur gravité, ce qui suggère que les accotements peuvent être utilisés pour l'évitement et le rattrapage. À trafic élevé (c.-à-d., TMJA de 5000 à 7000 véh./jour) la fréquence des accidents est également réduite mais Rogness et al. (1982 in VTT, 2000) ont observé une augmentation de la gravité dans les accidents qui survenaient. Cette dernière était attribuée à des vitesses plus élevées.

Zegeer et al. (1979) ont trouvé que, généralement, les taux d'accidents diminuent avec l'augmentation de la largeur des accotements.

Des études danoise et allemande, concernant la redistribution du profil en travers⁴ (y compris avec les accotements) dans une logique d'élargissement de la plate-forme (PT allant de 9 m à 13 m⁵) ont montré que :

- l'augmentation de la gravité des accidents était fortement liée à l'élargissement de la route bidirectionnelle classique que ce soit pour les accidents sans tiers ou impliquant plusieurs véhicules (Danemark, Brüde & Larsson, 1994 in VTT, 2000),
- le taux d'accidents et le taux du coût des accidents étaient plus élevés sur ce type de routes surdimensionnées⁶ (Allemagne, Brannolte, 1993 in VTT, 2000).

Il ressort de ces études qu'il n'y a pas de consensus en Europe concernant la largeur des accotements en dehors des autoroutes (*motorways*). Les routes non-autoroutières (*non-motorways* ; donc routes à chaussées séparées à caractéristiques non-autoroutières ou routes bidirectionnelles⁷ n'ont pas nécessairement d'accotement⁸ ou elles ont des accotements revêtus (*paved shoulders*) ce qui aboutit à des largeurs de chaussées de 7,5 m à 11,5 m (VTT, 2000). Pour les auteurs (VTT, 2000) cela reflèterait partiellement le fait qu'il n'y ait pas de consensus sur les effets sécurisants des accotements.

En France, une étude, concernant l'influence des largeurs de chaussées dans la genèse des accidents (CETE-NC, 1986) a montré que si la largeur de chaussée était rarement le facteur principal d'accident, le nombre d'accidents frontaux et par sortie de chaussée avec obstacle étaient bien plus importants sur les chaussées inférieures à 5,50 m (6 accidents sur 10).

De plus, l'élargissement des voies ou des accotements soulève le problème de la cohérence de l'environnement routier présenté aux usagers. L'idée est que toutes modifications de l'infrastructure doit être prise dans sa globalité pour ne pas inciter des comportements non adaptés (par ex., vitesses excessives) à l'infrastructure. Zegeer et al. (1994) soulignent que les largeurs de voie devraient « produire » des vitesses pratiquées compatibles avec la vitesse de conception. Les voies plus larges sur une infrastructure avec une limitation de vitesse basse (≤ 80 km/h) peuvent aboutir à des vitesses pratiquées au-dessus de celles pour lesquelles l'alignement était conçu. Cette notion de cohérence est d'autant plus importante que des études ont montré que le nombre de voies influence fortement la perception de sécurité et les vitesses pratiquées des conducteurs (Fildes et al., 1987, 1989).

⁴ NDLA. Aucune étude n'a été trouvée sur la redistribution du PT dans une logique de réduction de la largeur des voies.

⁵ NDLA. Nous rappelons ici qu'en France, pour les routes bidirectionnelles structurantes (réseau principal), l'espace roulant (correspond à toute la largeur revêtue) excède rarement les 7 m.

⁶ des routes de rase campagne « surdimensionnées » (*overwide*) avec des voies de 5,25 m comparativement à des routes avec des voies de 3,75 m (ou 3 m) et des accotements non-revêtus (par ex., herbeux) de 2 m (ou 1,5 m).

⁷ NDLA. Traduction faite à partir des catégories de routes en conception française et qui correspond à la différenciation faite en Europe.

⁸ NDLA. Attention, si l'on fait référence aux guides de conception français, il y a nécessairement un accotement, puisque rappelons le ici, en France, l'accotement est composé d'une bande dérasée de droite et d'une berme (figure 1, page 2). Sachant que la bande dérasée de droite peut être égale à la surlageur qui supporte le marquage de rive. Dans le cas où il n'y a pas de marquage de rive l'accotement par voit de conséquence se réduit à la berme.

2.3. Profil en travers (espace roulable et position latérale, inter-distance ou effet de friction)

Des études ont montré que le fait qu'il y ait ou non des accotements, ou qu'il y ait un marquage de rive ou non, et que la présence ou non de trafic dans la voie de circulation opposée ou adjacente, influencent la position latérale et les inter-distances.

Une étude indienne (Mallikarjuna et al., 2013), à partir de données trafic sur route à chaussées séparées de type 2x2, avec des largeurs entre 6,60 m et 12,50 m, a montré que les vitesses pratiquées, le type de véhicule adjacent et la largeur de la route influencent significativement l'inter-distance latérale. L'évolution de l'inter-distance latérale, lorsque les deux véhicules adjacents circulent avec plus ou moins des vitesses similaires se rapproche d'une distribution normale quel que soit le type de véhicule et la fourchette de vitesse. Elle se rapproche d'une loi log-normale. Sur route bidirectionnelle, les conducteurs sont capables de dépasser le véhicule devant eux quand l'inter-distance latérale équivaut à 1,5 fois la largeur du véhicule conduit (Dey et al., 2008). Dey et al. (2008) ne font pas mention de la variation de l'inter-distance latérale selon les routes ou les conditions de trafic. En Inde, beaucoup de routes ne sont pas marquées (*no-lane discipline*), le nombre de voies est pseudo-aléatoirement généré par les conducteurs, les véhicules se placent à 0,5 m du bord de la route et à 0,5 m de part et d'autre du centre de la route. De plus, les cyclistes circulent 1 m à l'intérieur de la chaussée à partir de l'accotement (Dey et al., 2008).

May (1959 in Gunay, 2007) a introduit quatre types de friction : interne, médiane, marginale et intersectionnelle. La friction interne fait référence à la friction qui existe entre deux véhicules circulant dans la même direction. Les facteurs pouvant influencer la friction interne sont : le nombre et la largeur des voies, le profil en long et le profil en travers, et l'uniformité et la régularité du trafic. Gunay (2003) a défini la *lane-based driving discipline* (conduite basée sur la délimitation des voies⁹) comme la tendance à conduire dans sa voie en restant le plus proche possible de sa voie (excepté en cas de dépassement). À partir d'un jeu de données recueilli sur des sections en alignement droit sur des autoroutes britanniques, allemandes et turques, Gunay (2007)¹⁰ a montré que lors de leur manœuvre de dépassement, les véhicules dépassant régulent leur inter-distance latérale en fonction de celle du véhicule dépassé (figure 3) et que la vitesse des deux véhicules reste inchangée tant qu'aucun des véhicules n'empiète sur les voies adjacentes.

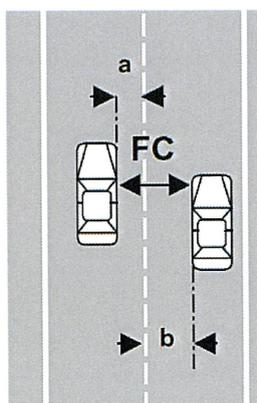


Figure 3 – Schéma de principe de la régulation de l'inter-distance latérale (« frictional clearance ») lors d'une manœuvre de dépassement (Gunay, 2007, p. 273).

⁹ Cette notion apparaît dans les documents qui abordent notamment la problématique de maintien dans la voie de circulation qui est difficile à appréhender dans les pays où il y a des routes sur lesquelles les voies ne sont pas marquées (*non-lane discipline*). NDLA. En dehors de toutes notions de profil en travers étroit.

¹⁰ Le cadre de ce recueil de données était l'élaboration d'un modèle de suivi de véhicules.

Le nouveau modèle de suivi de véhicule élaboré par Gunay (2007) suppose que la vitesse d'un véhicule est influencée par la largeur du chemin suivi, c.-à-d., la largeur effective de la route.

Dans son étude sur la position latérale des véhicules lorsqu'ils croisent d'autres véhicules sur une route bidirectionnelle à quatre voies sur une section en alignement droit de 2 km et de 12,8 m de largeur, Triggs (1980) a montré que :

- lorsque les véhicules croiseurs approchent, le véhicule croisé s'écarte systématiquement de l'axe de la route. L'écart commence 3,6 s avant le croisement des véhicules pour la section marquée en axe et en rive et 2,4 s dans la section marquée uniquement en axe.

Ces données réfutent l'affirmation que les conducteurs montrent une tendance générale à s'orienter vers les objets ayant une importance perceptible. Les positions latérales ont été « mesurées » toutes les 0,4 s pour les 3,6 s avant le point de croisement (intervalle considéré comme le plus long par l'auteur sans qu'il y ait d'autres véhicules),

- le fait que la section soit marquée uniquement en axe ou en axe et rive, influence le moment de l'éloignement à l'axe.

Sur la section marquée uniquement en axe, les conducteurs s'éloignent significativement de l'axe de la route à l'approche d'un véhicule croiseur mais il n'y a pas de différence significative entre les véhicules rapides et les véhicules moins rapides, ni d'interaction.

Sur la section marquée en axe et en rive les conducteurs s'éloignent systématiquement de l'axe de la route à l'approche d'un véhicule croiseur, l'écart à l'axe de la route augmente de manière linéaire. Les véhicules les plus rapides (79 km/h) s'éloignent significativement plus que les véhicules les plus lents (74 km/h) mais il n'y a pas d'interaction entre la vitesse et le temps avant de croiser un véhicule.

L'éloignement de l'axe commence à 3,6 s du point de croisement sur la section marquée en axe et en rive, et à 2,5 s sur la section marquée uniquement en axe. La vitesse moyenne sur la section marquée en axe et en rive est de 71 km/h et de 66 km/h sur la section uniquement marquée en axe.

Les véhicules les plus rapides tendent à s'éloigner de l'axe plus tôt que les conducteurs les plus lents. Pour Triggs (1980) il est possible que sur routes étroites de rase campagne, les véhicules les plus rapides anticipent leur éloignement à l'axe plus tôt.

Une étude française (Lévêque, 2011) concernant l'influence des véhicules croiseurs sur le positionnement latéral sur route bidirectionnelle de type départemental (RD6014, Seine Maritime) a montré que :

- de jour les VL isolés étaient centrés sur leur voie, alors que les PL isolés étaient à droite sur leur voie. De nuit les VL et les PL s'approchent de l'axe de la route, ce qui fait que les VL sont sur la gauche de leur voie et les PL se trouvent centrés sur leur voie,

- les véhicules s'écartent vers la droite lorsqu'ils se croisent. Les VL s'écartent chacun de 15 cm de jour et jusqu'à 25 cm de nuit. De plus, les VL, après le croisement, mettent davantage de temps à reprendre leur position de repos de jour que de nuit. Le déport d'un VL peut être de 35 cm lorsqu'il croise un PL et la reprise de sa position de repos est plus tardive que lorsqu'il croise un VL,

- le déport des véhicules qui se croisent se fait progressivement pour atteindre son maximum au droit du croisement et ce de manière symétrique,

- les véhicules croiseurs n'influencent pas la vitesse (Lévêque, 2011).

Une autre étude française (Rosey et al., 2009), réalisée en réalité virtuelle, a montré que les participants ne modifiaient pas leur vitesse lorsqu'ils croisaient des véhicules qu'il s'agisse d'un autre VL ou d'un PL et qu'ils circulaient plus près de l'axe de la route sur la chaussée de 7 m de large comparativement à celle avec des voies de 3 m avec des bandes multifonctionnelles de 0,50 m. De plus, ils s'écartaient de leur position latérale de référence lorsqu'ils croisaient un véhicule et ce pour les deux largeurs de voie (c.-à-d., 3,50 m et 3 m + 0,50 m de bande multifonctionnelle (Rosey et al., 2009). Cette étude a également montré que sur la chaussée de 3,50 m les participants circulaient plus près de l'axe de la route avant de croiser le véhicule qu'après l'avoir croisé, alors que sur la chaussée avec le profil en travers redistribué (c.-à-d., 3 m + 0,50 m), les participants ne modifient pas leur position latérale.

Certaines études (en milieu urbain), concernant le dépassement des cyclistes par les automobilistes, ont montré que des voies larges incitent à des vitesses plus élevées (une augmentation d'1 m de la largeur de voie verrait la vitesse augmenter de 15 km/h lorsqu'il n'y a pas de limitation de vitesse, Fitzpatrick et al., 2001 ; Noland, 2003), à une sécurité moindre, en fait l'élargissement des chaussées aboutirait à un sentiment de sécurité plus fort et les conducteurs seraient moins attentifs (Noland, 2003), et que les inter-distances latérales et les vitesses diminuent avec un trafic dense (Harkey & Stewart, 1997 in Gunay, 2007). AASHTO (1999) dans le guide américain pour les « cyclistes » spécifie une voie d'au minimum 3,6 m et recommande 4,2 m lorsqu'il y a un trafic mixte cyclistes-véhicules. En Afrique du Sud, le DOT (2003 in Venter & Knoetze, 2013) recommande des largeurs de voies de 4,5 m à 5,5 m lorsqu'il y a un trafic important et des vitesses élevées (NDLA. Vu ce qui suit nous supposons qu'il s'agit de vitesses supérieures à 50 km/h). Le DOT (DOT, 2003 in Venter & Knoetze, 2013) suggère que le partage des voies devrait être restreint aux routes à faible trafic et avec des limitations de vitesse inférieures à 40-50 km/h, même si à des vitesses faibles sont souvent associées des inter-distances latérales plus petites.

Une étude (Venter & Knoetze, 2013) concernant la distance minimale pour dépasser un cycliste en milieu urbain en Afrique, a montré que l'inter-distance latérale pour dépasser un cycliste était influencée par la largeur de la voie, les vitesses des véhicules et la densité du trafic. Un des facteurs le plus important pourrait être l'espace dans lequel se déplacent les véhicules. Par exemple, Schramm (2009) a montré que les voies larges facilitent les grandes inter-distances latérales. Par ailleurs, pour Pucher et al. (2011) les voies larges seraient une des raisons de la grande utilisation des vélos dans certaines villes australiennes. Kroll et Ramley (1977 in Gunay, 2007) ont montré que la réduction de la largeur des voies au profit de bandes cyclables peut amener à une réduction des inter-distances latérales lors d'un dépassement d'un cycliste par un véhicule mais elle augmente la sécurité puisque la prédictibilité des comportements des conducteurs augmente. De plus, ils ont montré, à partir de données filmées en situations réelles, que sur certaines rues où les véhicules et les cyclistes circulent de manière isolée dans des « voies » étroites (*narrower bands*), ils y circulent avec beaucoup moins de chevauchements lorsqu'une bande cyclable est présente et les empiètements des véhicules sont plus petits lorsqu'ils dépassent un cycliste lorsqu'il y a une piste cyclable (Kroll et Ramley, 1977).

Gunay (2007) a montré, qu'en milieu urbain, que la rue soit à une ou deux voies, l'inter-distance latérale augmente lors d'un dépassement d'un cycliste comme la largeur des voies augmente et que cette relation n'est pas linéaire. De plus, les conducteurs ne réduisent pas nécessairement l'inter-distance latérale lorsqu'il y a du trafic dans la voie adjacente ou dans le sens opposé. Ce serait plutôt la largeur de voie que le nombre de voies qui serait la variable explicative de la variation de l'inter-distance latérale. Les inter-distances latérales augmentent avec l'augmentation des vitesses pratiquées : les conducteurs augmenteraient les inter-distances latérales pour se donner plus de temps pour réagir. Cette augmentation de l'inter-distance latérale

pourrait être aussi due à la largeur de voie et pas à la vitesse si des voies plus larges « encouragent » des vitesses plus élevées (Gunay, 2007).

Des études ont montré que la présence ou non d'un aménagement cyclable, la nature du marquage de rive, la largeur de l'accotement, la catégorie de véhicules qui dépasse un cycliste sont des facteurs qui influencent l'inter-distance latérale.

Mehta et al. (2014) ont montré que l'inter-distance latérale est inférieure à 1 m au cours du dépassement lorsqu'il y a une bande cyclable ce qui rend les dépassements peu sûrs. En l'absence de bande cyclable, les inter-distances latérales au cours des dépassements sont plus grandes ce qui augmente le risque de collisions frontales par le franchissement de l'axe de la route au cours de la manœuvre de dépassement (Mehta et al., 2014). Le fait que l'inter-distance latérale augmente lors d'une manœuvre de dépassement lorsqu'il n'y a pas de bande cyclable a été également observé par Meyer et Parkin (2008). Meyer et Parkin (2008) ont montré qu'en l'absence d'une piste cyclable (*bike lanes*) l'inter-distance latérale est plus grande. Ils concluent que la présence d'une piste cyclable ne fournit pas davantage d'espace aux cyclistes et aboutit à une diminution du risque perçu pour les véhicules motorisés et les cyclistes.

Chuang et al. (2013) ont montré que les inter-distances latérales sont plus petites lorsque les 2RM dépassent un cycliste que lorsqu'ils dépassent un VL ou de petits PL.

Savolainen et al. (2012), à partir de l'observation de vidéos terrain de sections équipées de bandes d'alerte sonore de type creusé¹¹ (*milled rumble strips*) uniquement en axe ou en axe et rive, ont montré que les variables pouvant influencer les inter-distances latérales lors du dépassement d'un cycliste sont : cycliste seul ou en groupe, sa position latérale, le type de véhicule dépassant et le trafic croisé influence l'inter-distance latérale.

Sur les sections non équipées de BAS, lors de dépassement de cycliste(s), 77,5 % des véhicules touchent le marquage axial et 17,1 % le franchissent.

Sur les sections équipées de BAS de type creusé en axe, ils sont 73 % à toucher le marquage axial et 15,8 % à le franchir¹². L'implantation de BAS de type creusé diminue de 10 % la probabilité que les véhicules touchent le marquage axial, néanmoins l'effet est relativement petit par rapport aux autres facteurs comme la position latérale du cycliste au moment du dépassement ou la présence de trafic dans la voie de circulation opposée au moment du dépassement (Savolainen et al., 2012). Savolainen et al. (2012) ont montré que lorsque le conducteur rencontre un groupe de cyclistes, il a 81 % de probabilité de franchir le marquage axial par rapport à lorsqu'il dépasse un cycliste seul. L'effet groupe de cycliste – cycliste seul n'est pas aussi prononcé pour le nombre de « contact » du marquage axial. Comparé aux cas dans lesquels le cycliste circule au centre de l'accotement, les contacts avec le marquage axial étaient beaucoup plus probables que lorsque le cycliste circulait près du flux de circulation. Lorsque le cycliste circulait à gauche de l'accotement, les contacts avec le marquage axial étaient de 22 % plus probables et les franchissements de 56 % plus probables. Cette différence était davantage prononcée lorsque le cycliste était tout à droite de l'accotement (c.-à-d., 42 % de probabilité de plus de contacts avec le marquage axial et 38,5 % de probabilité de plus de franchissement du marquage axial). Les motocyclistes ou les véhicules de tourisme touchent ou franchissent le moins le marquage axial et ils laissent davantage d'espace lors des dépassement que les autres catégories de véhicules (Savolainen et al., 2012). Lorsqu'il y a du trafic dans le sens de circulation opposé, les véhicules sont 25 % moins susceptibles de toucher le marquage axial et 58 % moins susceptibles de le

¹¹ Dispositif audio-tactile composé de rectangles fraisés dans l'enrobé qui produit vibrations et sons lorsque le pneu du véhicule roule dessus. Ce type de marquage est très utilisé dans les pays anglo-saxon et aux États-Unis afin de réduire les accidents par sortie de voie et les collisions frontales. Ce type de dispositif a été testé dans le cadre du projet ANR RoadSense (RoadSense, 2013).

¹² Données qui sont intéressantes dans la perspective de mise en sécurité de sections par BAS de type creusé (suite de RoadSense).

franchir. La présence de véhicules dans le sens opposé de circulation inhibe la possibilité de se mouvoir latéralement.

Les véhicules touchent ou franchissent l'axe de la route plus souvent lorsqu'ils dépassent un groupe de cycliste qu'un cycliste seul. La position latérale du(des) cycliste(s) affecte celle des véhicules : les véhicules sont plus enclins à toucher ou à franchir l'axe de la route lorsque le(s) cycliste(s) sont à droite de la voie qu'à gauche de l'accotement. La probabilité de contacts ou de franchissements de l'axe de la route diminue lorsque le cycliste est au centre de l'accotement.

Les BAS de type creusé en axe, diminuent la probabilité que les véhicules touchent ou franchissent l'axe de la route. En effet, cette étude a montré que si les conducteurs tendent à rouler sur ou à franchir le marquage axial lorsqu'ils dépassent un cycliste, ils le font beaucoup moins lorsqu'il y a présence de BAS de type creusé en axe (Savolainen et al., 2012).

En France, une étude concernant l'implantation en rive de BAS de type creusée sur une route bidirectionnelle de type départementale (RD6014, Seine-Maritime) a montré une influence des BAS sur les positions latérales des conducteurs mais pas sur les vitesses pratiquées (Le Lez, 2014). La section de RD6014 a un PT de 7,30 m, dans le cadre du Projet RoadSense (RoadSense, 2013), sur une section de 1,6 km les largeurs de voies ont été réduites à 3 m au profit d'une surlargeur d'environ 70 cm équipée de BAS de type creusée (figure 4).



Figure 4. Illustration de la configuration du PT de la RD6014 avant (à gauche) et après (à droite) implantation des BAS de type creusée. Les BAS ont été implantées selon un pas de 80 cm. (Source photo, Le lez/Cerema-DTerNC/2013)

La réduction de la largeur des voies à 3 m par redistribution du marquage au sol au profit d'une surlargeur équipée de BAS de type creusé :

- n'a pas d'effet significatif sur la vitesse pratiquée par les conducteurs, quelles que soient les situations étudiées (véhicules libres, isolés, croiseurs, jour, nuit),
- amène les conducteurs (VL et PL) à circuler significativement plus près de l'axe de la route avec une variabilité des positions latérales qui diminue de 10 %,
- amène une réduction des inter-distances latérales moyennes (hors rétroviseurs) entre deux véhicules qui se croisent. Cette inter-distance latérale diminue de 34 cm lorsque deux VL se croisent, de 27 cm lorsqu'un VL et un PL se croisent, et de 11 cm lorsque deux PL¹³ se croisent. L'inter-distance latérale moyenne est de 1,3 m avec un VL et de 1,5 m avec un PL (Le Lez, 2014).

Cette étude a également montré que les VL ne roulent pas ou peu sur les BAS et le marquage. De plus, les PL roulent deux fois moins en rive à l'emplacement des BAS et aucun

¹³ NDLA. L'auteur de l'étude souligne la petite taille de l'échantillon de la situation PL-PL (84 cas après implantation des BAS et 18 cas avant)

véhicule ne circulent au-delà des BAS. Les VL occupent les voies de manière similaire après implantation des BAS, par contre l'influence des BAS sur l'occupation des voies par les PL est plus importante à 30-40 cm de l'axe de la route, la proportion de PL y est plus importante après implantation (21 à 30 % à 30 cm de l'axe et 35 à 50 % à 40 cm de l'axe) qu'avant (Le Lez, 2014).

Un des facteurs le plus important pourrait être l'espace dans lequel se déplacent les véhicules Venter et Knoetze (2013) et la vitesse pratiquée.

2.4. Position latérale, inter-distances et marquage de rive, largeur de voie, configuration des accotements

Différentes études ont été réalisées sur l'influence de l'implantation de marquage en rive sur le positionnement latéral.

Sun et al. (2006) ont montré, dans leur étude sur l'influence de l'implantation d'un marquage de rive sur la sécurité sur les routes à chaussées séparées étroites (ici, largeur de voie < à 6,71 m), que l'implantation d'un marquage de rive incite les conducteurs à s'éloigner du bord de rive de la chaussée ce qui permettrait de réduire les sorties de voies par la droite (le type d'accident le plus commun sur routes étroites). De plus, le marquage de rive tend à recentrer les conducteurs sur leur voie (Sun et al., 2006) et ce davantage lors de conduite de nuit (Sun & Tekell, 2005) quel que soit le profil en long (Sun & Tekell, 2005). En fait, généralement, il éloigne les usagers des bords de la route au regard de l'alignement (droit *vs* courbe) (Sun & Tekell, 2005). Ranney et Gawron (1986) ont montré que sur des sections avec marquage de rive, les vitesses et la fréquence des chevauchements du marquage axial dans les courbes diminuaient.

Thomas (1958) sur des routes de 7,32 m de largeur en Louisiane, après l'implantation d'un marquage de rive continu ou discontinu à différentes distances, n'avait pas trouvé d'influence sur la position latérale des conducteurs de jour. Par contre, de nuit, le marquage de rive continu tendait légèrement à déplacer les conducteurs vers le marquage central (Thomas, 1960 in Gunay 2007). Thomas (1960 in Gunay, 2007) sur des largeurs des routes de 6,10 m et 7,32 m a montré que l'implantation d'un marquage de rive sur des routes d'une largeur de 7,32 m n'influait pas les positions latérales des conducteurs, comme dans l'étude de 1958, mais sur les routes de 6,10 m, les conducteurs de véhicules de tourisme et de véhicules commerciaux (*commercial vehicles*) étaient plus proches du marquage central en condition de trafic fluide (*free flow condition*). Cette tendance à se rapprocher du marquage central après implantation d'un marquage de rive, est aussi présente quand les véhicules de tourisme croisent des véhicules (Thomas, 1960 in Gunay, 2007). Dans le Missouri, une étude avait montré qu'après implantation d'un marquage de rive sur des routes bidirectionnelles de rase campagne (*rural two-lane highways*) de largeur de 6,10 m et de 7,32 m, les véhicules se rapprochaient du marquage axial dans des conditions de trafic fluide (Missouri State Highway Commission 1969 in Gunay, 2007). Dans cette étude, les déplacements allaient de 0 à 15,24 cm avec les plus grands déplacements sur les chaussées de 6,10 m. Par contre, il n'y avait pas de changements significatifs dans les vitesses pratiquées. Dans son étude, Hassan (1971 in Gunay, 2007) a trouvé les mêmes résultats pour des chaussées de 5,50 m et de 7,32 m. Une étude plus récente (Steyvers & De Waard, 2000), comparant avant-après implantation de marquage de rive sur autoroutes étroites de rase campagne (*rural highways*¹⁴) étroites (c.-à-d., 4,10 m et 4,50 m¹⁵), a montré que les usagers se recentrent sur leur voie et se rapprochent moins fréquemment du bord de la route quand les marquages de rive sont présents.

¹⁴ Aux États-Unis, les autoroutes peuvent être des bidirectionnelles, c.-à-d., qu'il n'y a pas de séparation physique des flux de circulation.

¹⁵ En France, les routes étroites correspondent aux chaussées bidirectionnelles inférieures à 5 m (DSCR, 1992). Le marquage de rive n'y est pas obligatoire.

NDLA. La notion de routes étroites, chaussées étroites pour les chaussées séparées n'existe pas en France.

De plus, cette étude n'a pas révélé de problèmes lors de croisement de véhicule : chacun cédant de la place lors du croisement (Steyvers & De Waard, 2000).

Gunay (2007) dans son étude montre que l'implantation de marquage de rive recentre les usagers sur leur voie mais n'affecte pas les vitesses pratiquées. Ces résultats sont différents de ceux de Thomas (1960 in Gunay, 2007) et de Bali et al. (1976 in Ranney & Gawron, 1986) quant à l'influence sur la vitesse. Ces derniers ont montré, sur des sections de route de largeur différentes, qu'après implantation de marquage en rive, les vitesses sur la section de 7,3 m de large étaient plus faibles mais elles étaient plus élevées que sur la section de 5,5 m de largeur.

Des études françaises, dans le cadre de la redistribution du profil en travers au profit d'une bande multifonctionnelle, ont montré que la réduction de la largeur des voies sur routes bidirectionnelles recentre les conducteurs sur leur voie (c.-à-d., les éloignent de l'axe de la route) et n'influence pas les vitesses (*in situ*, CETE-NC, 2006, *in situ* et réalité virtuelle, Rosey et al., 2009). Dans le cadre d'aménagement d'un sommet-de-côte avec des mesures perceptives, un groupe d'études françaises réalisées en réalité virtuelle et *in situ* a montré que l'équipement d'un sommet-de-côte avec des accotement revêtus recentrait les conducteurs sur leur voie et n'influait pas les vitesses (par ex., Auberlet et al., 2010, Auberlet et al., 2012, Rosey et al., 2009).

Concernant, la configuration des accotements sur le positionnement latéral et les vitesses pratiquées, des études ont montré que :

- les inter-distances latérales avec les véhicules croiseurs augmentent avec l'augmentation de la largeur et de la qualité des accotements, en augmentant la largeur effective de la chaussée (Portigo (1976 in Armour & McLean, 1983),
- les conducteurs s'éloignent progressivement de l'axe de la route avec l'augmentation de la largeur des accotements Taragin (1958 in Armour & McLean, 1983). Jorol (1962 in Armour & McLean, 1983) a montré que sur les routes équipées d'accotements de 2,4 m, les conducteurs sont 0,8 m plus loin de l'axe comparativement aux routes équipées d'accotements de 1,5 m. Un rétrécissement d'1,2 m de l'accotement amène les conducteurs à 0,3 m plus près de l'axe de la route. Un rétrécissement supplémentaire de 0,9 m ne cause pas de changement supplémentaire de la position latérale des conducteurs. Après marquage des accotements, les conducteurs se rapprochent de l'axe de la route.

Si la largeur des accotements influence le positionnement latéral, la présence ou non d'arbres, glissières... l'influence également.

Abele et Moller (2011) dans une étude sur simulateur de conduite concernant l'influence du design d'une route bidirectionnelle de rase campagne (*two-lane rural roads*) sur les comportements de conduite ont montré que si la présence d'accotement peut ne pas influencer les vitesses pratiquées, elle amène les conducteurs à se rapprocher du bord de rive (c.-à-d., s'éloignent de l'axe de la route) ce qui réduit la probabilité de collisions frontales. Ils ont également montré que la présence d'arbres le long de la route n'amenait pas les participants à ajuster leur vitesse. L'étude a montré que les vitesses étaient plus élevées en présence d'accotements stabilisés, qu'en présence d'accotements, elles-mêmes plus élevées que lorsqu'il n'y avait pas d'accotement. Les participants étaient plus proches du centre de la route dans les courbes que sur alignement droit en présence ou non d'accotement. Lorsqu'il n'y avait pas d'arbres les participants étaient légèrement plus proches du bord de rive sur les alignements droits, en présence d'arbres ils étaient plus près de l'axe de la route dans les courbes. La présence d'arbres n'influence pas les vitesses (résultats identiques à par ex., Jamson et al., 2010 ; Van der Horst & De Ridder, 2007). Ils ne sont peut-être pas perçus comme un danger (étude réalisée en réalité virtuelle et avec participants jeunes (moy.

24 ans)). Si la présence d'arbres n'influçait pas les vitesses, elle influçait les positions latérales : les participants étaient plus proches de l'axe de la route surtout dans les courbes. La marge prise par les participants serait utilisée comme « zone de confort » pour Cacciabue (2007). Les vitesses étaient plus élevées en présence d'accotements revêtus (de couleur) qu'en présence d'accotement non-revêtus. Ils ont montré aussi que la présence d'accotement tend à dégrader la sécurité. Ce dernier résultat est contradictoire avec la littérature (par ex., Elvik et al., 2009).

Les résultats quant à l'effet de la largeur des accotements sont contradictoires et l'effet semble fortement dépendant du niveau de trafic. Les accotements peuvent améliorer le niveau de service en permettant (fournissant) des inter-distances latérales plus grandes lors du croisement d'autres véhicules, en permettant de passer un véhicule en attente d'un tourne-à-gauche (à droite en Australie) et en fournissant de l'espace afin de dépasser un véhicule lent mais il faut que les accotements soient revêtus (Armour & McLean, 1983).

Les seules études trouvées concernant spécifiquement la redistribution du profil en travers dans une logique de rétrécissement de la largeur de voie sont des études françaises. Ces études ont montré que la réduction de la largeur des voies sur routes bidirectionnelles avec un espace roulable de 6,60 à 7 m recentre les conducteurs sur leur voie (c.-à-d., les éloignent de l'axe de la route) et n'influence pas les vitesses (CETE-NC, 2006, Rosey et al., 2009). Un groupe d'études françaises (par ex., Auberlet et al., 2010, Auberlet et al., 2012, Rosey et al., 2009) sur des mesures perceptives afin de recentrer les conducteurs lors du franchissement d'un sommet-de-côte, réalisées en situation réelles et en réalité virtuelle, a montré que l'équipement d'un sommet-de-côte avec des accotement revêtus recentrait les conducteurs sur leur voie et n'influçait pas les vitesses.

3. CONCLUSION

Les données et les connaissances quant au lien entre le PT, et les comportements des conducteurs et les accidents sont d'autant plus difficiles à transposer telles quelles pour les profils en travers du réseau routier français que :

- selon les pays, le terme chaussée ne correspond pas forcément à la même chose : dans certains pays la chaussée correspond toute la largeur revêtue (*paved*), pour nous dans le texte et en France, cela correspond à l'espace roulable, et dans d'autres pays, le terme chaussée correspond uniquement aux voies. De plus, dans la grande majorité des documents (presque exclusivement en anglais) la précision n'est pas faite ou est difficile à appréhender, notamment concernant le type d'infrastructure (c.-à-d., autoroute, route à chaussées séparées ou route bidirectionnelle) compte tenu que le terme *highway* (très majoritairement utilisé dans les documents) fait référence aux termes « route » et « autoroute ». Si la précision (par ex., *divided* vs *undivided*, *median band*...) n'est pas faite la difficulté dans la catégorisation de l'infrastructure est augmentée et,
- les études étant principalement anglo-saxonnes, la transposition ne va pas d'elle-même, les profils en travers étant supérieurs à ceux du réseau français.

Malgré tout, vue le manque d'études, de recherches spécifiques sur la problématique de la redistribution du PT en vue d'une sécurisation d'un itinéraire, avec en perspective une sécurisation par implantation de dispositifs d'alerte audio-tactile (suite RoadSense), les études faisant plus ou moins directement référence à l'influence du PT sur les positions latérales, les inter-distances frontales (véhicules croisés), les inter-distances latérales (véhicules croisés, dépassés) nous donnent de l'information. Cette information a notamment alimenté, en complément des enjeux et de la problématique de mise en sécurité d'itinéraires par les Conseils

Généraux, le protocole en cours d'élaboration pour la tâche 3 (expérimentation sur simulateur de conduite). Cette dernière permettra notamment par expérimentation de nouvelles répartitions du profil en travers et notamment de l'espace roulable disponible, d'apporter des éléments de connaissance sur les effets d'une réduction du profil en travers (par ex., jusqu'où l'espace roulable peut être redistribué, selon le type de route et son environnement) sur les positions latérales, les inter-distances et les vitesses. Cette production de connaissances permettra de donner des éléments de recommandation à destination des gestionnaires afin de modifier le comportement (vitesse et positionnement sur la voie de circulation) des conducteurs par leur perception de l'environnement routier (le profil en travers).

Références

- AASHTO. (1999). *Guide for the development of bicycle facilities*. Washington, DC.
- Abdel-Aty, M.A., & Essam Radwan, E.A. (2000). Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accid. Anal. Prev.* 32, 633-642.
- Abele, L., & Moller, M. (2011). The relationship between road design and driving behavior: a simulator study. In : 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, 2011, Indianapolis, Indiana
- Accord européen sur les grandes routes de trafic international. (2008). Accord du 15 novembre 1975. Repéré à <http://www.unece.org/trans/conventn/ECE-TRANS-SC1-384f.pdf>
- Armour, M., & Cinquegrana, C. (1990). Victorian study of single vehicle rural accidents. In : Proceedings of the 15th Australian Road Research Board Conference, Part 7, Australian Road Research Board, Melbourne, pp. 79-91, 1990.
- Armour, M., & McLean, J.R. (1983). The effect of shoulder width and type on rural traffic safety and operations. *ARRB*, 13(4), 259-270.
- Article R414-4 du code de la route. Repéré à <http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006842216&cidTexte=LEGITEXT000006074228&dateTexte=20150825>
- Auberlet J.-M., Pacaux M.P., Anceaux F., Plainchault P., Rosey F. (2010). The impact of perceptual treatments on lateral control: A study using fixed-base and motion-base driving simulators. *Accid. Anal. Prev.* 42, 166-173.
- Auberlet, J.-M., Rosey, F., Anceaux, F., Aubin, S., Briand, P., Pacaux, M.P., & Plainchault, P. (2012). The impact of perceptual treatments on driver's behavior: From driving simulator studies to field tests-First results. *Accid. Anal. Prev.* 45, 91-98.
- Bressan, P., Garlaschelli, L., & Barracano M. (2003). Antigravity hills are visual illusions. *Psychological Science*, 14, 441-449.
- Buisson, C., & Lesort, J.B. (2010). Comprendre le trafic routier - méthodes et calculs. Certu.
- Cacciabue, P.C. (2007). *Modelling driver behaviour in automotive environments: Critical issues in driver interactions with intelligent transport systems*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA.
- Caliendo, C., Guida, M., & Parisi, A. (2007). A crash-prediction model for multilane roads. *Accid Anal Prev.* 39(4), 657-670.
- CEDR. (2006). *Most effective short-medium- and long-term measures to improve safety on European roads*. Final report prepared by the conference of European directors of roads. Repéré à http://www.cedr.fr/home/fileadmin/user_upload/publications/2006/e_road_safety_mesures.pdf
- CERTU. (2009). *Le profil en travers, outil du partage des voiries urbaines*. Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques, Lyon, France.
- CERTU. (2008). Savoirs de base en sécurité routière : Maîtrise des vitesses par l'aménagement, Fiche n°3, Novembre 2009.

- CETE-NC. (1986). La largeur de chaussée – Facteur accidentogène ? Division Exploitation Sécurité Gestion des Infrastructures, Grand-Quevilly, Seine-Maritime, France.
- CETE-NC. (1995). Sécurité, vitesse avant/après éclairage : Autoroute A13 (Section Rouen-Ouest / Maison Brulée). Division Exploitation Sécurité Gestion des Infrastructures, Grand-Quevilly, Seine-Maritime, France.
- CETE-NC. (2006). Réduction de la largeur de chaussée au profit de la bande multifonctionnelle : influence sur les comportements. Cas de la RD910 en Seine-Maritime. Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement Normandie Centre, Division Exploitation Sécurité Gestion des Infrastructures, Grand-Quevilly, Seine-Maritime, France.
- Lévêque, E. (2011). Influence des véhicules croiseurs sur la position latérale des véhicules. Rapport de stage. Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement Normandie-Centre, Département Infrastructures de Transport Multimodales (DITM), groupe Exploitation de la route, Simulation dynamique, Métrologie (ESM), Grand-Quevilly, Seine-Maritime, France.
- CÉTU. (1995). Recommandations pour la conception des tunnels urbains à gabarit réduit (RECTUR). Centre d'Études des Tunnels, Bron, Lyon, France.
- CÉTUR. (1990). Ville plus sûre, quartiers sans accidents : savoir-faire et techniques. Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques, Lyon, France.
- Charlton, S.G., & Baas, P. (2010). *Speed change management for New Zealand roads*. Transport Engineering Research New Zealand Ltd, Traffic & Road Safety.
- Chuang, K.H., Hsu, C.C., Lai, C.H., Doong, J.L., Jeng, M.C. (2013). The use of a quasi-naturalistic riding method to investigate bicyclists' behaviors when motorists pass. *Accid Anal Prev*, 56, 32-41.
- Cohen, S. (1990). Ingénierie du trafic routier : éléments de théorie du trafic et applications. Collection Cours de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.
- Department for Transport. (2007). Traffic calming. Local Transport Note 1/07, March 2007.
- Deroo, M., Hoc, J.M., & Mars, F. (2013). Effect of strength and direction of haptic cueing on steering control during near lane departure. *Transportation Research Part F*, 16, 92-103.
- Dewar, R.E., & Olson R. (2002). *Human factors in traffic safety*. Tucson, AZ: Lawyers and Judges Publishing.
- Dey, P., Chandra, S., & Gangopadhyay, S. (2008). Simulation of mixed traffic flow on two-lane roads. *J. Transp. Eng.*, 134(9), 361-369.
- Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (2009). *The handbook of road safety measures* (2nd ed.). Bingley, UK, Emerald Group.
- ERSO. (2011). Traffic Safety Basic Facts 2011 - Single vehicle accidents. Webtext of the European Road Safety Observatory.
- Fildes, B.N., Fletcher, M.R., & Corrigan, J. (1987) *Speed perception 1: Drivers' judgements of safety and speed on urban and rural straight roads* (Report No. CR54). Federal Office of Road Safety, Canberra: Department of Transport and Communication.
- Fildes, B.N., Leening, A.C., & Corrigan, J. (1987). *Speed perception 2: Drivers' judgements of safety and speed on rural straight and curved roads and for different following distances* (Report No. CR60). Federal Office of Road Safety, Canberra: Department of Transport and Communication.
- Fitzpatrick, K., Carlson, P., Brewer, M., & Wooldridge, M., (2001). Design factors that affect driver speed on suburban streets. *Transportation Research Record*, 1751, 18-25.
- Gambard, J.M., & Louah, G. (1986). *Vitesses pratiquées et géométrie de la route* (Rapport d'étude). Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements, Bagneux, France.
- Gunay, B. (2003). Methods to quantify the discipline of lane-based driving. *Traffic Engineering and Control*, 44(1), 22-27
- Gunay, B. (2007). Car following theory with lateral discomfort. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(7), 722-735.

- Haworth, N., & Rechnitzer, G. (1993). *Description of fatal crashes involving various causal variables*. Department of Transport, Federal Office of Road Safety, CR 119, Canberra, Australia, 1993.
- Jamson, S., Lai, F., & Jamson, H. (2010). Driving simulators for robust comparisons: a case study evaluating road safety engineering treatments. *Accid Anal Prev*, 4(3), 961-971.
- Knuiman, M.W., Council, F., & Reinfurt, D. (1993). Association of median width and highway accident rates. *Transportation Research Record*, 1401, 70-82.
- Kroll, B. J. & Ramley, M. R. (1977). Effects of bike lanes on driver and bicyclist behavior. *Journal of Transportation Engineering*, 103(2) (Abstract).
- Land, M.F., & Lee, D.N. (1994). Where we look when we steer? *Nature*, 369, 742-744.
- Le Lez, C. (2014). Bandes d'alerte creusées en rive : expérimentation sur la RD 6014. Projet RoadSense, Prévention des sorties involontaires de voie par lignes d'alerte routières audio tactile (Tâche 6.2). Cerema, Direction Territoriale Normandie-Centre, Département Infrastructures de Transport Multimodales (DITM), groupe Exploitation de la route, Simulation dynamique, Métrologie (ESM), Grand-Quevilly, Seine-Maritime, France.
- Mallikarjuna, C., Tharun, B., & Pal, D. (2013). Analysis of the lateral gap maintaining behavior of vehicles in heterogeneous traffic stream. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 370-379.
- McGehee, D.V., Lee, J.D., Rizzo, M., Dawson, J., & Bateman, K. (2004). Quantitative analysis of steering adaptation on a high performance fixed-base driving simulator. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(3), 181-196.
- Mehta, K.; Mehran, B.; Hellings, B. (2014). An analysis of the lateral distance between motorized vehicles and bicyclists during overtaking maneuvers. Ontario Traffic Council, Region of Waterloo, June 1-14 2014, Compendium.
- Mok, J-H, Landphair, H.C., & Naderi, J.R. (2005). Landscape improvement impacts on roadside safety in Texas. *Landscape and Urban Planning*, 78, 263-274.
- Mutabazi, M.I., Russell, E.R., & Stokes R.W. (1998). Driver's attitudes, understanding, and acceptance of passing lanes in Kansas. *Transportation Research Record*, 1628, 25-33.
- Dewar, R.E., & Olson R. (2002). *Human factors in traffic safety*. Tucson, AZ: Lawyers and Judges Publishing.
- Marec, M. (1994). Comment rendre agréable l'ambiance intérieure d'un tunnel routier ? *RGRA*, 723, 17-24.
- New Zealand. (2000). *Down with speed: A review of the literature, and the impact of speed on New Zealanders*. Accident Compensation Corporation and Land Transport Safety Authority, New Zealand, 2000.
- Noland, R. (2003). Traffic fatalities and injuries: The effect of changes in infrastructure and other trends. *Accid. Anal. Prev.* 35, 599-611.
- O'Connell, D. (1998). The relationship between geometric design standards and safety. In *International Symposium on Highway Geometric Design Practices*, 44, 1-7, 1998.
- OECD. (1999). *Safety strategies for rural roads. Road transport and intermodal research report*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 1999.
- Olivero, P., & Jacob, B. (2006). *Glossaire : Métrologie des Trajectoires et du Trafic*. Opération de Recherche LCPC, Métrologie des Trajectoires et du Trafic (MTT), Zone Expérimentale et Laboratoire de Trafic, Toulouse, France.
- ONISR. (2009). *Bilan de l'année 2008*. Paris: La Documentation française. Paris, France
- ONISR. (2010). *La sécurité routière en France : Bilan de l'année 2009*. Paris: La Documentation française.
- Pucher, J., Garrard, J., & Greaves, S. (2011). Cycling down under: a comparative analysis of bicycling trends and policies in Sydney and Melbourne. *Journal of Transport Geography*, 19, 332-345.
- Ranney, T.A.; Gawron, V.J. (1986). The Effects of Pavement Edgelines on Performance in a Driving Simulator under Sober and Alcohol-Dosed Conditions. *Human Factors*, 28(5), 511-525.

- Rasanen, M. (1995). Effects of a rumble strip barrier line on lane keeping in a curve. *Accid. Anal. Prev.* 37, 575-581, 2005.
- Road Federation Belgium. (2002). Chaînons manquants et travaux routiers prioritaires. Conférence de Presse du 23 octobre 2002. Repéré le 10.07.2006 à www.rfbelgium.be/press/broch_fr.pdf
- RoadSense. (2013). Projet ANR – RoadSense, www.roadsense2013.eu
- Rosey, F., & Moisan, O. (2011). *Sujet 1.2. – Impact des informations visuelles sur les comportements : Glossaire de la terminologie Infrastructure et Vitesse*. Rapport Opération de Recherche I2V, Département Infrastructures de Transport Multimodales, groupe Sécurité Routière, Grand-Quevilly, Seine-Maritime, France.
- Rosey, F., Auberlet, J.M., Moisan, O., & Dupré, G. (2009). Impact of narrower lane width: Comparison between fixed-base simulator and real data. *Transportation Research Record*, 2138, 112-119.
- Rumar, K. (1985). The role of perceptual and cognitive filters in observed behavior. In L. Evans & R. C. Schwing, *Human Behavior and Traffic Safety* (pp.151-165). Plenum Press, New York, 1985.
- Saad, F. (1989). Risk-taking or danger misperception. *Revue-Transport-Sécurité* (English issue), 4.
- Saad, F. (1992). In-depth analysis of interactions between drivers and the road environment: contribution of on-board observations and subsequent verbal report. In Proceedings of the 4th Workshop of ICTCT, University of Lund, 1992.
- Savolainen, P., Gates, T., Todd, R., Datta, T., & Morena, J. (2012). Lateral placement of motor vehicles when passing bicyclists. *TRR*, 2314, 14-21.
- Schramm, A. J. & Rakotonirainy, A. (2009) The effect of road lane width on cyclist safety in urban areas. In : Proceedings of the 2009 Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference, Sydney, Australia.
- SETRA. (2006). Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes (Document technique n°4044). Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements, Bagneux, France.
- Steyvers, F.J.J.M., & De Waard, D. (2000). Road-edge delineation in rural areas: effects on driving behaviour. *Ergonomics*, 43(2), 223-238.
- Sun, X., Das, S., Zhang, Z., Wang, F., & Leboeuf, C. (2014). Investigating safety impact of edgelines on narrow, rural two-lane highways by empirical Bayes method. *TRR*, 2433, 121-128.
- Sun, X., Park, J., Tekell Jr, V.O., & Ludington, N. S. (2006). Impact of pavement edge line on vehicular lateral position on narrow rural two-lane roadways in Louisiana. In : Proceedings of the 85th TRB Annual Meeting, January 22-26, Whashington, D.C., 2006.
- Sun, X., & Tekell, Jr. V.O. (2005). *Impact of edge lines on safety of rural two-lane highways*. LTRC Project Number 03-6P. Louisiana Transportation Research Center, Lafayette, Oct. 2005.
- Thomas, I. L. (1958). Pavement Edge Lines on Twenty-Four Foot Surfaces in Louisiana. HighwayResearch Board Bulletin 178, National Research Council, 1958, pp. 12-20.
- Thomas, I. L., Taylor, W. T. (1960). Effect of Edge Striping on Traffic Operations. *Highway Research Board Bulletin*, 244, 11-15. (Abstract)
- Topp, H.H. (1990). Traffic safety, usability and streetscape effects of new design principles for major urban roads. *Transportation*, 16, 297-310.
- TRB. (1998). *Managing speed: Review of current practice for setting and enforcing speed limits* (TRB special report 254). National Research Council, Washington, D.C.
- TRB. (2000). Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, D.C. Washington.
- Triggs, T. J. (1980). The influence of oncoming vehicles on automobile lateral position. *Human Factors*, 22(4), 427-433.
- Van Elslande, P. (1992). Les erreurs d'interprétation en conduite automobile : mauvaise catégorisation ou activation erronée de schémas ? *Intellectica*, 3, 125-149.
- Vaniotou, M. (1990). The perception of bend configuration. *Research Transport Securite*, 7, 39-48.

- Venter, C. J., & Knoetze, H. (2013). Lateral clearance between vehicles and bicycles on urban roads. In : proceedings of the 32nd Annual Southern African Transport Conference 8-11 July 2013 "Transport and Sustainable Infrastructure", CSIR International Convention Centre, Pretoria, South Africa.
- VTT. (2000). Safestar *Deliverable 4.1 : Safety evaluation of different kinds of cross-section on rural two-lane roads*. SAFESTAR - Safety standards for road design and redesign, work package 4: cross sections of rural roads. VTT Communities and Infrastructure, Finland.
- Wilmot, C. G., & Khanal, M. (1999). Effect of speed limits on speed and safety: a review. *Transport Reviews*, 19(4), 315-329.
- Zegeer, C. V., & Mayes, J.G. (1979). *Cost-effectiveness of lane and shoulder widening of rural, two-lane roads in Kentucky*. Kentucky Transportation Center Research Report. Paper 1035.
- Zegeer, C.V., Stewart, R., Council, F., & Neuman, T.R. (1994). Accident relationships of roadway width on low-volume roads. *Transportation Research Record*, 1445, 160-168.

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

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
Direction Territoriale Normandie-Centre : 10 Chemin de la poudrière – CS 90245 - 76121 Le Grand-Quevilly Cédex – Tél : (0)2 35 68 81 00
Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30 - www.cerema.fr