

Accidents par perte d'adhérence : relation adhérence-sécurité routière et analyse préalable à l'intervention

Lionel PATTE

Laboratoire régional de l'Est parisien

RÉSUMÉ

Les accidents de la circulation sur chaussée mouillée demeurent une problématique de sécurité importante. Les principaux enjeux associés aux caractéristiques d'adhérence des chaussées sont d'abord rappelés.

L'influence de ces caractéristiques sur le risque d'accidents a été mise en évidence à plusieurs reprises ; les principaux résultats sont mentionnés ainsi que les difficultés pratiques et méthodologiques auxquelles se heurtent les études statistiques.

Malgré l'importance des problèmes de sécurité liés à l'adhérence, les méthodes actuelles d'analyse de l'insécurité d'une voie préalablement à une intervention ne sont pas très explicites sur la façon de les appréhender. Des repères méthodologiques sont donc proposés pour prendre en compte l'adhérence sur l'infrastructure dans les différentes phases de l'analyse : approfondissement des enjeux et diagnostic. Ces éléments sont illustrés par un extrait d'une étude de sécurité sur une voie urbaine rapide.

DOMAINE : Route.

ABSTRACT

ACCIDENTS DUE TO LOSS OF SKID RESISTANCE: THE SKID RESISTANCE-ROAD SAFETY RELATIONSHIP AND PRELIMINARY INTERVENTION ANALYSIS

Traffic accidents on wet pavement remain a critical obstacle to road safety improvement. The key issues associated with pavement skid resistance characteristics will be discussed first.

The influence of these characteristics on accident risks has been highlighted on a number of occasions; the primary results stemming from such efforts will be indicated, along with the practical and methodological difficulties encountered when conducting statistical studies.

Despite the importance of road safety problems related to skid resistance, current methods for analyzing road insecurity over a given section prior to remedial intervention are not highly explicit in the approach employed to reach such a determination. Methodological benchmarks have thus been proposed in order to incorporate skid resistance on the road infrastructure into the various phases of analysis, featuring a more detailed examination of key issues and an enhanced diagnostic. These elements will be illustrated by an extracts from a safety study performed on an urban thoroughfare.

FIELD: Roads.

169

ENJEUX ET RISQUES

Pour apprécier les enjeux liés à l'adhérence des chaussées, on évoque habituellement le nombre (ou la proportion) des accidents survenus lors d'épisodes pluvieux ou, plus souvent, de ceux survenus sur une chaussée mouillée. Ce dernier état paraît beaucoup plus pertinent car on observe déjà une forte dégradation des performances du contact pneumatique/chaussée avec un contact mouillé par rapport à un contact sec [1].

Les caractéristiques d'adhérence des chaussées peuvent atteindre des niveaux « critiques » sur une chaussée mouillée. On mettra ici à part les problèmes liés aux salissures sur la chaussée (corps gras, gravillons, etc.) et ceux liés à des conditions climatiques spécifiques (neige, verglas, etc.) ; s'ils peuvent dégrader fortement le contact pneumatique-sol, ils ne font pas intervenir les caractéristiques intrinsèques d'adhérence des chaussées* et restent de toute façon marginaux (2 % des accidents au total**).

* Certaines caractéristiques des chaussées peuvent néanmoins favoriser la formation du verglas.

** Sources : ONISR (statistiques annuelles).

La proportion d'accidents survenus lors d'épisodes pluvieux est de 14 % environ, aussi bien en rase campagne qu'en milieu urbain. Ce chiffre était stable lors de la dernière décennie [2]. Ces accidents ne sont ni plus ni moins graves en moyenne que les accidents survenus en dehors de ces épisodes.

La part des *accidents survenus sur chaussée mouillée* (notés A_{CM} par la suite), comprenant les accidents lors d'épisodes pluvieux, est nettement plus élevée – environ le quart des accidents et des tués en rase campagne (20 % en milieu urbain)*.

Ces enjeux sont néanmoins inégalement répartis sur les réseaux routiers. La part d' A_{CM} est notamment bien plus importante dans les virages (le tiers des accidents [1]) et en approche des giratoires (40 %) [3].

Les enjeux de sécurité liés à l'adhérence des chaussées restent difficiles à apprécier. Ils ne peuvent en tout cas pas l'être directement à partir du fichier national des accidents car tous les A_{CM} ne font pas intervenir les caractéristiques d'adhérence (exemple : assoupissement d'un conducteur entraînant une sortie de chaussée sans tentative de braquage ou de freinage). Une approche plus fine à partir de données issues de procès-verbaux ou, mieux, d'EDA (études détaillées d'accidents) serait nécessaire [4].

Par ailleurs, le risque d'accidents est nettement supérieur sur une chaussée mouillée que sur une chaussée sèche. Ce « sur-risque » a été souvent étudié. Deux articles récents [5, 6] proposent une synthèse sur le sujet. Le sur-risque diffère sensiblement d'une étude à l'autre ; il est compris entre 1,7 et 2,9**, mais est le plus souvent voisin de 2.

En combinant les éléments sur les enjeux et les risques, un rapport de la DRAST [2] estimait à 430 tués par an le gisement associé aux accidents par temps de pluie en rase campagne. Ce chiffre n'intègre manifestement pas les enjeux sur chaussée humide hors épisodes pluvieux ; aussi le gisement associé aux A_{CM} , calculé selon la même méthode, serait-il de l'ordre de 700 tués.

Les problèmes de sécurité liés à l'adhérence des revêtements méritent donc d'être convenablement pris en compte dans les études de sécurité préalables à l'intervention sur l'infrastructure.

RELATIONS ENTRE CARACTÉRISTIQUES DE SURFACE ET ACCIDENTS

170

L'influence des caractéristiques de surface sur la sécurité a été mise en évidence à plusieurs reprises. Le document de référence intitulé « *Sécurité des routes et des rues* » [7] constitue une synthèse de ces connaissances :

« *Les études reposant sur l'analyse du déroulement des accidents* [8] montrent que les défauts d'*uni* (planéité) longitudinal (dans le domaine des ondes courtes) et les défauts d'adhérence contribuent à favoriser les accidents lorsque les sollicitations en freinage et en accélération transversale sont anormalement élevées. [...]. Ainsi, les chocs arrière ou les accidents fronto-latéraux en intersection, en présence de défauts de visibilité ou d'un trafic intense ou très rapide qui entraînent des besoins de freinage brutaux, sont favorisés par les défauts d'adhérence et d'*uni*. [...], dans des courbes présentant des défauts accidentogènes (rupture dans la courbure, courbure faible compte tenu du tracé en amont...), des sollicitations transversales très fortes peuvent se produire, et, dans ce cas, le défaut d'*uni* ou d'adhérence peut contribuer à favoriser les pertes de contrôle. Ce phénomène apparaît également dans certaines zones de dépassement ou de rabattement [8] ».

Plusieurs études se sont également intéressées à la relation entre l'adhérence, en termes de coefficient de frottement transversal (CFT), et le taux d' A_{CM} [6, 9]. Elles ont fourni des courbes d'allures similaires, monotones et décroissantes, montrant une corrélation entre ces deux grandeurs ; le taux d' A_{CM} augmente lorsque l'adhérence diminue. La pente de la courbe varie néanmoins nettement d'une étude à l'autre.

Ces études présentent des limites ; en particulier, des biais possibles ne sont pas pris en compte [7]***. Ces limites, et plus généralement la carence en modèles de risque**** intégrant l'adhérence, s'expli-

* Sources : ONISR (statistiques annuelles).

** Le type de réseau peut varier sensiblement d'une étude à l'autre.

*** Pour cerner le risque de biais, des contrôles pourraient être faits, comme l'examen de la corrélation entre taux d'accidents sur route sèche et adhérence. Une corrélation entre ces deux grandeurs serait pour le moins troublante et suggèrerait l'existence d'un biais : la corrélation des caractéristiques de surface à d'autres caractéristiques de la voie influant sur la sécurité.

**** Des modèles prédictifs du nombre d'accidents sont proposés pour les carrefours plans, les giratoires [10] et les virages [11]. Aucun ne comporte de variables relatives aux caractéristiques de surface et, sur la base des documents publiés, les modèles étrangers n'en comportent guère plus.

quent avant tout par la complexité de la modélisation du risque routier. On peut citer quelques-unes de ces difficultés :

- Significativité : l'accident est un événement déjà « rare », et les caractéristiques d'adhérence n'en concernent qu'une fraction minoritaire. Obtenir des résultats significatifs implique d'étudier un très grand nombre de sites (ou un très grand linéaire).
- Complexité théorique et méthodologique : le nombre d'accidents survenus sur un site suit une loi de Poisson. Une modélisation doit faire appel à des techniques statistiques sophistiquées (modèle linéaire généralisé) et des outils informatiques adaptés [10, 11]. En outre, établir une relation entre risque et adhérence nécessite d'intégrer les différents éléments susceptibles d'influer significativement sur le niveau de sécurité, comme les caractéristiques du tracé, du trafic, des accotements, etc.*
- Fiabilité insuffisante des données d'accidents : c'est notamment le cas en termes de localisation**, d'adhérence (avec les moyens et les méthodes actuelles de mesures, l'incertitude sur les mesures de CFT reste sensible [13]), de trafic, de géométrie, etc.
- Représentativité temporelle ou spatiale des données : il est d'abord difficile d'associer une mesure d'adhérence à un accident. Souvent, plusieurs mois à plusieurs années séparent la campagne de mesures des différents accidents survenus sur un site alors que l'adhérence subit des variations notables (saisonnalité, évolution due à l'usure, etc.) [13]. En outre, des dégradations très localisées (quelques mètres) de l'adhérence peuvent avoir une influence forte sur le risque d'accidents, particulièrement en virage. Il est donc nécessaire de disposer d'une description fine de l'adhérence. Enfin, l'accident n'est pas un événement ponctuel ; il dure quelques instants et se déroule sur quelques dizaines à quelques centaines de mètres, de la situation de rupture jusqu'au(x) choc(s)***.

Tous ces éléments font que la relation entre risque ou taux d' A_{CM} et adhérence est particulièrement difficile à étudier.

PRISE EN COMPTE DE L'ADHÉRENCE DANS LES ÉTUDES DE SÉCURITÉ

171

Dans le numéro spécial n° 185 du Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées « Adhérence des chaussées » de 1993 [8], Francis Fernandez de l'INRETS présentait les principales méthodes d'analyse des accidents de la route. Il ne sera pas revenu en détail sur leur terminologie, leur contenu et leur démarche et le lecteur est invité à se reporter à cet article.

Parmi ces méthodes, le diagnostic de sécurité reste plus que toujours d'actualité comme étude préalable à l'intervention sur l'infrastructure. Il est en particulier au cœur de la nouvelle démarche nationale *Sécurité des usagers sur les routes existantes* dite SURE****.

La démarche SURE

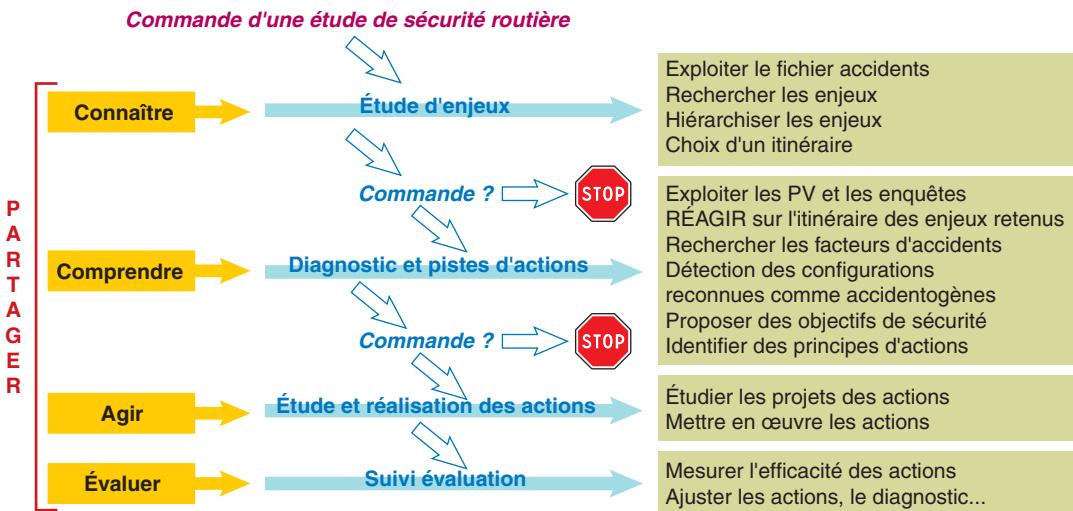
La démarche SURE [14] vise la requalification des itinéraires de routes nationales, sous l'angle de la sécurité routière, mais elle a vocation à servir de référence méthodologique aux Conseils Généraux qui souhaiteraient la mettre en œuvre pour la gestion de leur réseau. Cette démarche propose une méthodologie complète de l'analyse des enjeux à la réalisation et à l'évaluation des actions d'amélioration de l'infrastructure, en vue de la rendre plus sûre. La Figure 1 présente l'organisation classique des études de sécurité. Le déploiement de SURE a commencé dès le début de l'année 2004.

* « Les études statistiques prenant en compte l'ensemble des variables en jeu relativisent l'influence des caractéristiques de surface : [...] les principales variables expliquant le caractère accidentogène (taux d'accidents) d'un virage sont les variables relatives à la courbure et les variables relatives aux accotements, l'influence du dévers et encore davantage celle des caractéristiques de surface étant beaucoup plus faibles. [...] Les études analytiques [4] font d'ailleurs apparaître que les caractéristiques de surface interviennent presque toujours en combinaison avec d'autres défauts accidentogènes, et rarement parmi les facteurs initiaux d'un accident. C'est souvent lorsque le conducteur, déjà dans une situation critique, réagit en sollicitant brutalement son véhicule (freinage brutal, coup de volant) qu'un défaut du contact pneu-chaussée peut intervenir. » [7]

** Il n'est en particulier pas envisageable d'utiliser directement le fichier national des accidents [12].

*** Cette vision de la durée de l'accident est évidemment réductrice – l'accident trouve souvent des prémisses bien en amont de la rupture – mais c'est celle qui concerne le plus l'adhérence.

**** Les études détaillées d'accidents (EDA), encore plus approfondies que les diagnostics, conservent toute leur pertinence, mais relèvent surtout du domaine de la recherche. Elles ne seront pas abordées ici.



□ **Figure 1**

Schéma de principe du déroulement des études dans le cadre de la démarche SURE.

Prolongement de l'étude d'enjeux

Une première approche, relativement macroscopique, permet de prolonger l'étude d'enjeux. On considère la fréquence d' A_{CM} et leur répartition géographique et on recherche notamment des tronçons sur lesquelles la proportion d' A_{CM} est significativement élevée*. Ces tronçons sont de deux natures :

- les sections correspondant à un découpage *a priori* de l'itinéraire** ;
- les zones d'accumulation d'accidents (ZAA).

Les ZAA sont les portions de route qui présentent une densité d'accidents significativement plus élevée qu'une référence, souvent la densité moyenne d'accidents sur l'itinéraire. Elles font en pratique quelques hectomètres de long, et rarement plus de deux kilomètres. Sur chaque ZAA, on teste si la proportion d' A_{CM} est significativement élevée ou non***.

Sur ces sections ou zones à risque d' A_{CM} , il est probable qu'il existe des problèmes en relation avec l'adhérence. Il reste à vérifier cette conjecture et à comprendre quels sont ces problèmes.

Le diagnostic de sécurité

Un diagnostic de sécurité vise à comprendre précisément l'ensemble des déterminants des accidents afin de proposer des solutions pratiques pertinentes qui éviteront que des accidents se reproduisent ou, du moins, qui en limiteront le risque. Il s'agit donc bien d'une démarche préventive.

Les guides actuels [15, 16] décrivent la démarche générale, mais ne précisent pas vraiment la façon d'appréhender le rôle spécifique éventuel de l'adhérence. On propose ci-après quelques repères méthodologiques.

La méthode s'appuie notamment sur une analyse séquentielle de chaque accident, la source d'information principale étant la procédure d'accidents. Thierry Brenac explique que « *dans les modèles séquentiels, l'accident de la circulation est étudié comme une suite de phases ou séquences, reliées chroniquement et causalement* » [17].

Évidemment, l'analyse des problèmes éventuels liés à l'adhérence ne saurait être détachée de celle des autres dysfonctionnements possibles, qui sont nombreux. Les méthodes utilisées dans le cadre d'un diagnostic permettent au contraire d'avoir une vision globale des dysfonctionnements. Il s'agit

* Test de proportion avec une loi binomiale.

** Le sectionnement permet d'obtenir des sections assez homogènes en termes de trafic, de fonction, d'usages et d'environnement.

*** Par exemple, pour une ZAA de 10 accidents et une proportion moyenne de 25 % d' A_{CM} , il faut au moins 6 A_{CM} pour considérer que la proportion d' A_{CM} est anormale (il n'est cependant pas interdit de se poser des questions en deçà).

seulement ici de donner quelques pistes pour apprécier, au cours du diagnostic, le rôle que les caractéristiques de surface peuvent jouer.

L'analyse des procédures d'accidents constitue donc la base de l'étude. Elle permet d'émettre des hypothèses sur les dysfonctionnements en relation avec l'adhérence (entre autres). Afin d'être confirmées, infirmées ou précisées, ces hypothèses seront soumises à d'autres analyses, s'appuyant sur des données complémentaires relatives au fonctionnement de la voirie (usages, comportements), à ses caractéristiques (CFT, HS*, géométrie, etc.), au trafic, etc.

On peut commencer par rechercher les indices d'une sollicitation dynamique importante, transversale ou longitudinale à partir d'informations sur :

- les vitesses, notamment pour le franchissement d'un virage, l'approche de giratoires, etc. En effet, l'accélération transversale et la distance de freinage croissent, schématiquement, avec le carré de la vitesse ;
- les manœuvres et les actions du conducteur : freinage, dépôt brusque lors d'un dépassement, pour éviter un objet, un véhicule lent, etc. ;
- la trajectoire suivie par le véhicule à partir des traces de ripage et freinage et le point de choc (informations consignées dans les PV) ;
- des défauts de l'infrastructure favorisant des erreurs d'appréciation de la part des conducteurs : rupture dans le rayon d'une courbe, diminution ou insuffisance du dévers, lisibilité du virage difficile compte tenu de sa coïncidence avec une intersection, balisage inadapté, etc.

Les informations qui caractérisent la demande d'adhérence sont à croiser avec celles qui caractérisent l'offre d'adhérence. Pour cela, un relevé précis des caractéristiques de surface est nécessaire : frottement (CFT), macrorugosité (en HS) et uni (que l'on ne traitera pas ici). On considère qu'un défaut d'adhérence très localisé (de quelques mètres seulement) peut être accidentogène, notamment dans les virages, et pas seulement pour les motos. Les valeurs sont à interpréter :

- d'une part, en valeur absolue, au regard du type de voie, de la géométrie, etc., en bref des besoins en adhérence (cf. *supra*). Le chargé d'études dispose de repères, donnés à titre indicatif (cf. § suivant). Si les seuils donnés pour la macrorugosité ne sont pas controversés (la circulaire du 16 mai 2002 [18] en fait désormais référence), il n'en est pas de même pour le CFT, etc. ;
- d'autre part, en valeur relative (ce qui permet de s'affranchir en partie des incertitudes liées à la saisonnalité et des éventuels biais dans les mesures), en repérant les baisses des indicateurs de CFT et d'HS. Une baisse locale de l'adhérence peut aussi résulter de fortes sollicitations en amplitude et en fréquence.

Enfin, on n'oubliera pas d'intégrer des informations sur les caractéristiques techniques des véhicules (usure des pneumatiques, mode de propulsion, ABS, etc.), ainsi que sur les conducteurs (expérience et aptitude, connaissance de son véhicule, état psychologique, etc.) qui peuvent jouer fortement sur l'adhérence effectivement mobilisable. La synthèse du diagnostic permet d'identifier les facteurs d'accidents et les facteurs aggravants.

Positionnement d'Alertinfra

Le chargé d'études en sécurité routière dispose d'un outil d'aide à l'analyse - et non à la décision - Alertinfra, développé par les Centre d'études techniques de l'Équipement (CETE) de Lyon et de Normandie-Centre. Ce logiciel détecte des situations *a priori* accidentogènes, dites « alertes », à partir de mesures de la géométrie de la route et de caractéristiques de surface. Ces alertes résultent d'études et de recherches menées sur les relations entre les accidents et les caractéristiques de l'infrastructure. Elles font l'objet d'une validation [19].

L'utilisation de cet outil nécessite de disposer de données sur les caractéristiques de chaussée, notamment le CFT mesuré par le SCRIM et la macrotexture de la chaussée (HS devenu PMT), mais aussi sur la géométrie et l'environnement de la route (position des agglomérations).

Dans sa version actuelle, Alertinfra comporte dix-neuf alertes dont quatre sont relatives à l'adhérence :

- alerte V7 - virage présentant un défaut d'adhérence : virage de rayon inférieur à 250 m et présentant une valeur moyenne de CFT sur 5 m inférieure à 0,5 ;
- alerte V8 - virage présentant un défaut de rugosité : virage de rayon inférieur à 250 m et présentant une valeur moyenne de HS sur 5 m inférieure à 0,4 mm ;

* Notée maintenant PMT (cf. article de Michel Gothié dans ce numéro).

- alerte S2 - section courante présentant un défaut d'adhérence (valeur moyenne de CFT sur 5 m inférieure à 0,5) ;
- alerte S3 - section courante présentant une mauvaise macrotexture (valeur moyenne de HS sur 5 m inférieure à 0,4 mm).

Chaque alerte signalée ne correspond pas forcément à un réel problème de sécurité justifiant une intervention. Il appartient au chargé d'études d'en vérifier le bien-fondé. En aucun cas, on ne saurait décider d'intervenir sur l'infrastructure sur la seule base des alertes.

L'intérêt principal d'Alertinfra dans le cadre d'un diagnostic est de signaler au chargé d'études les principales situations reconnues comme dangereuses rapidement et sous une forme pratique et synthétique. Les résultats fournis par Alertinfra peuvent être représentés sous forme graphique, en utilisant les schémas itinéraires SILLAGE.

Les alertes sont destinées à évoluer en fonction des connaissances, par exemple à partir des travaux réalisés dans le cadre de l'opération de recherche concerté LCPC/SETRA intitulée « Sécurité des itinéraires » dite ITI, qui s'est achevée fin 2004.

Les objectifs de sécurité

Les objectifs de sécurité sont définis à l'issue du diagnostic. Ils se fondent, d'une part sur les facteurs d'accidents et les facteurs aggravants et, d'autre part, sur les résultats de l'étude d'enjeux.

La détermination de ces objectifs et leur hiérarchisation doit être compréhensible et partagée - il est généralement plus facile de s'entendre sur des objectifs que sur des solutions préconçues - entre le bureau d'études en charge du diagnostic et le maître d'ouvrage, mais aussi et surtout par la suite entre le maître d'ouvrage et ses différents partenaires.

La formulation des objectifs doit être en lien étroit avec les facteurs d'accidents et aggravants, précise, mais sans préfigurer une solution, et avec un ancrage local suffisant.

Les objectifs de sécurité doivent être associés à une liste d'indicateurs d'évaluation au regard de la sécurité (indicateurs « directs » relatifs aux accidents ou « indirects » relatifs par exemple aux comportements, etc.). La possibilité de définir un ou plusieurs indicateurs est un moyen de vérifier que l'objectif est correctement formulé. En ce qui concerne l'adhérence, ces objectifs relèvent :

- soit de l'augmentation de l'offre d'adhérence : améliorer les caractéristiques d'adhérence en termes de microrugosité et/ou de macrorugosité dans tel virage, améliorer l'évacuation des eaux de ruissellement pour réduire le film d'eau sur telle portion de voie, éviter l'accumulation d'eau sur la chaussée, réduire le temps de mouillage de la chaussée, etc. ;
- soit de la baisse de la demande d'adhérence : réduire les sollicitations dynamiques en fréquence et en amplitude dans tel enchaînement de virages, réduire la vitesse pratiquée sur telle section, augmenter le rayon de courbure, augmenter le dévers, améliorer la lisibilité d'un virage, etc. ;
- ou des deux simultanément.

Les pistes d'actions

La phase diagnostic se termine par la formulation de pistes d'actions dont le but est d'aider le maître d'ouvrage à élaborer un plan d'actions pour améliorer la sécurité. Ces pistes doivent être hiérarchisées et sont à prendre comme des principes d'aménagement ou d'intervention.

Plusieurs actions peuvent être proposées pour un même objectif de sécurité et un même lieu. Ces actions peuvent être complémentaires (relatives par exemple, d'une part à la couche de roulement et, d'autre part, à la géométrie) ou redondantes, plusieurs solutions plus ou moins ambitieuses, contraintes et coûteuses pouvant être proposées pour un même objectif.

Les pistes d'actions concernent évidemment l'infrastructure. Il s'agit d'aménagements de sécurité, mais aussi de mesures d'entretien ou d'exploitation. Des actions relatives à la formation, la sensibilisation des agents, la communication voire le contrôle-sanction peuvent venir en complément.

La nature des aménagements de sécurité peut être très variée. Dans un souci de rentabilité (rapport efficacité/coût), les aménagements modestes sont à privilégier dans la mesure où leur efficacité est intéressante. En outre, leur mise en œuvre est généralement plus aisée et rapide que des aménagements plus lourds, les raisons étant techniques, financières, réglementaires, etc.

Il peut également être souhaitable de prévoir en compléments de certains aménagements correctifs lourds (mais nécessaires), qui ne pourront pas être réalisés à court terme, des aménagements plus légers d'attente.

Si l'on ne peut parler de véritables évaluations, les CETE évoquent des gains intéressants et parfois impressionnantes obtenus suite à l'amélioration localisée de la couche de roulement, justifiée par une étude de sécurité.

EXEMPLE ILLUSTRATIF

L'exemple développé ci-après n'a pas pour objectif de restituer l'intégralité de l'analyse détaillée d'une zone dangereuse, mais d'illustrer à partir de quelques éléments les propos précédents.

Il s'agit d'une zone d'accumulation d'accidents (ZAA), sur laquelle ont été recensés neuf accidents corporels en deux ans et de très nombreux accidents matériels, une vingtaine en deux ans, avec dégâts au domaine public : heurts de glissières etc.

Elle est située sur une route express interurbaine d'Île-de-France, plus précisément dans une bretelle directe (courbe à droite) à deux voies, raccordant deux portions de section courante. La ZAA est intégralement comprise dans la courbe à droite. À l'extrémité, la bretelle accidentogène converge avec une autre bretelle à une voie venant de sa gauche (Fig. 2).

L'analyse détaillée des procès-verbaux met notamment en évidence que les accidents correspondent systématiquement à des pertes de contrôle sur chaussée mouillée liés à des problèmes de dynamique de véhicule, dans la partie médiane de la courbe et, surtout, en fin de courbe. Certains déports ou trajectoires peuvent entraîner le heurt d'un autre véhicule.

La situation de la bretelle en continuité de la section courante (affectation sur deux voies) n'est guère favorable à une modération des vitesses (la vitesse limite autorisée est de 70 km/h).

L'analyse des caractéristiques géométriques de la courbe révèle un défaut de tracé sensible. Le rayon relativement difficile pour une bretelle à deux voies (240 m, soit le rayon minimal de la catégorie « A80 » de l'ICTAVRU [20]), baisse sensiblement en extrémité de la courbe (- 20 % environ), juste avant la convergence (Fig. 3). Il s'agit sans doute d'une courbe en « ove » (deux arcs circulaires de même sens raccordés par un arc de clothoïde).

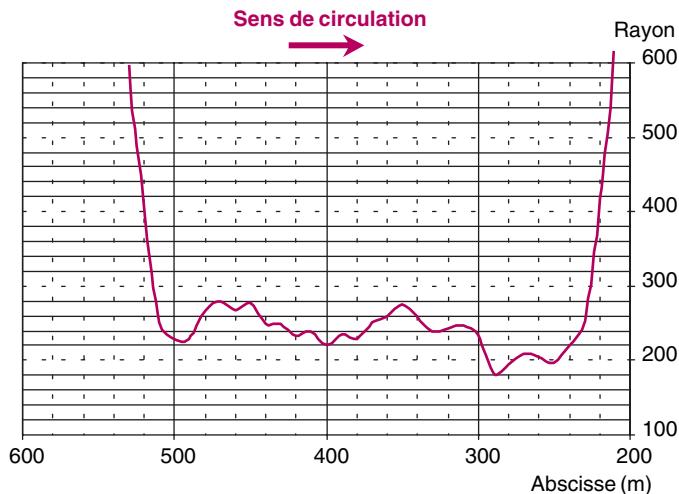
Le dévers de 5 % est conforme à l'ICTAVRU (dévers maximal pour A80), bien qu'il paraisse un peu faible dans l'absolu, au regard du type de voie, du contexte de la courbe et du rayon en fin de courbe (Fig. 4). En outre, la perception de la courbure se détériore justement à l'extrémité de la courbe, au niveau de la convergence. Celle-ci implique l'interruption du balisage (balises de type J4) et de l'écran visuel lié à la végétation en fond de perspective. L'adhérence n'est pas satisfaisante. Le CFT est compris entre 0,35 et 0,40 sur toute l'étendue de la ZAA, faiblissant en fin de courbe entre 2001 et 2003 (Fig. 5). La macrorugosité est proche de 0,60 avec un minimum de 0,48.



Figure 2
Vue de la bretelle à l'extrémité de la ZAA (à droite), au niveau de la convergence.

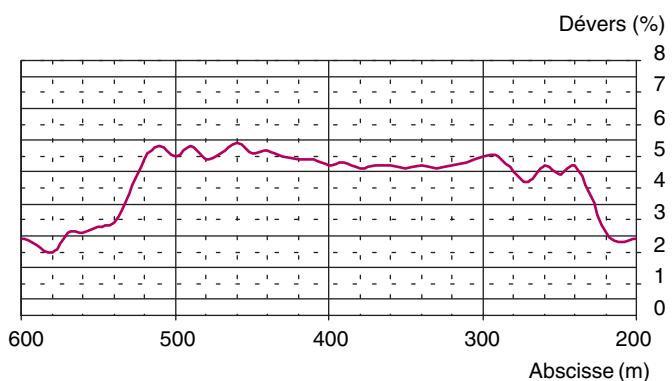
■ **Figure 3**

Rayon de courbure (mesuré par le PALAS) en approche et au niveau de la zone accidentogène.



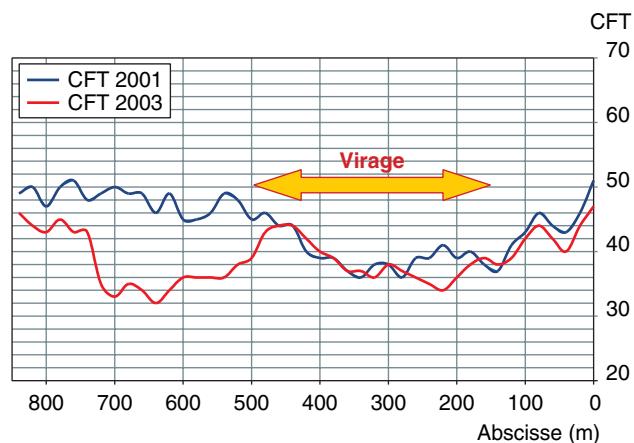
■ **Figure 4**

Dévers (mesuré par le PALAS) en approche et au niveau de la zone accidentogène.



■ **Figure 5**

Coefficient de frottement transversal (valeurs SCRIM 2001 et 2003) dans la développée de la courbe.



Évidemment, les pertes de contrôle s'expliquent en premier lieu par des vitesses assez élevées (mises en évidence dans les accidents, et observées *in situ*), favorisées elles-mêmes par les conditions d'approche de la bretelle (Fig. 6).

Des modèles (simplifiés) mettent en évidence la fragilité de l'équilibre dynamique, compte tenu des vitesses effectivement pratiquées par les usagers. Compte tenu des données d'adhérence, de dévers et de rayon, la vitesse maximale théorique (au-delà de laquelle la stabilité dynamique n'est plus assurée) se situe au niveau de 100 km/h environ, mais la vitesse de sécurité (intégrant une marge* pour

* Celle-ci est habituellement fixée à 33 % par rapport à l'adhérence théoriquement mobilisable [21].



□ **Figure 6**

Vue de la bretelle, dans la ZAA, avant la convergence. Le conducteur de la berline non gêné, mais sans doute surpris par la difficulté de la courbure, donne un coup de frein en fin de courbe.

tenir compte des limites du conducteur et du véhicule) est bien inférieure : environ 80 km/h*. On peut d'ailleurs facilement observer *in situ* des véhicules en limite de stabilité sur chaussée mouillée. Les principaux facteurs d'accidents retenus sont finalement les suivants :

- vitesse excessive, la situation de la bretelle ne favorisant pas le respect des limitations de vitesse ;
- mauvaise adhérence : faible microrugosité et macrorugosité médiocre ;
- courbure se renforçant en fin de courbe ;
- situation de la bretelle et de la courbe (dispositif d'affectation en amont défavorable) ;
- balisage insuffisant en fin de courbe.

Les objectifs de sécurité peuvent se décliner ainsi : modérer les vitesses en amont, améliorer l'adhérence (objectif prioritaire ici), améliorer la perception de la courbe, homogénéiser la courbure, renforcer le balisage, etc. Les pistes d'actions associées seront par exemple :

- la réfection de la couche de roulement, soit par utilisation d'un revêtement garantissant un CFT élevé et pérenne (CPA des granulats élevé), soit par un traitement de surface (grenaillage) ; la solution sera à choisir et préciser après un diagnostic de la chaussée ;
- l'augmentation et l'homogénéisation du dévers (à coupler avec la réfection de la couche de roulement, le cas échéant) ;
- une légère rectification du tracé en plan pour homogénéiser la courbure (en jouant sur la largeur des éléments du profil en travers).

La consistance ou même la faisabilité de chaque solution peut nécessiter une étude complémentaire plus ou moins approfondie.

PERSPECTIVES

Le chargé d'études en sécurité routière est confronté lors d'un diagnostic à des informations nombreuses et de natures très diverses, et doit intégrer des connaissances dans de nombreux domaines, allant de la mécanique à la psychologie des conducteurs. Les études détaillées d'accidents font d'ailleurs appel à une équipe pluridisciplinaire. La prise en compte des caractéristiques de surface et les solutions formulées seront d'autant plus pertinentes que les conditions suivantes seront réalisées :

- posséder de bonnes connaissances sur le rôle des caractéristiques de surface dans les accidents, ce qui implique une diffusion des savoirs sous une forme pratique et synthétique ;
- avoir à sa disposition une méthodologie en la matière ;
- disposer de données représentatives et fiables.

Une compétence supplémentaire peut être obtenue par un travail d'équipe intégrant, au besoin, un spécialiste du domaine « chaussées ».

* Cette estimation se fonde sur l'application du principe fondamental de la dynamique, avec de nombreuses hypothèses simplificatrices. Elle est donnée à titre indicatif (comme une alerte) et vise seulement à donner un ordre de grandeur. Il est possible d'estimer plus précisément ces niveaux de vitesse, à l'aide d'outils de simulation plus ou moins perfectionnés, mais cela demande un travail beaucoup plus lourd.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] DELANNE Y., *Journées adhérence des 16 et 17 octobre 2003*, LCPC.
- [2] DRAST, *Gisements de sécurité routière*, 2002.
- [3] PATTE L., *Contribution à l'évaluation de l'impact de l'environnement visuel sur la conduite, à partir d'observations in situ et de l'analyse détaillée d'accidents : cas des giratoires*, Opération de recherche LCPC 11C024 « Percevoir », LREP, 2004.
- [4] FERRANDEZ F., Analyse des accidents. Infrastructure et sécurité, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 185, mai-juin 1993, pp. 19-26.
- [5] DELANNE Y., TRAVERT P., *Accident rates and road surface skidding properties : a literature survey*, ISATA 97SAF015, 1997, 8 pages.
- [6] GOTHIÉ M., Apport à la sécurité routière des caractéristiques de surface des chaussées, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 224, janvier 2000, pp. 5-12.
- [7] SETRA, CETUR, Sécurité des routes et des rues, 1992.
- [8] FERRANDEZ F., Analyse des accidents. Infrastructure et sécurité, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 185, mai-juin 1993, pp. 19-26.
- [9] GOTHIÉ M., Influence de l'adhérence sur la sécurité routière, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 185, mai-juin 1993, pp. 27-32.
- [10] BRENAC T., *Accidents en carrefours sur routes nationales. Modélisation du nombre d'accidents prédictibles sur un carrefour et exemples d'applications*, Rapport INRETS, 185, 1994.
- [11] LABAYE Y., *Modélisation de l'insécurité routière en relation avec l'infrastructure. Mise en place d'une méthodologie d'application du modèle linéaire généralisé*, CETE Normandie-Centre, ENSAI, 1997.
- [12] PATTE L., *La fiabilité du fichier accidents. Constats et conséquences*, CETE Normandie-Centre, ONISR, 1996.
- [13] GOTHIÉ M., *Frottement pneumatique-chaussée : phénomène et mesure – éléments de réflexion pour commander des mesures d'adhérence et les exploiter*, Compte-rendu de travail, pôle chaussées, commission technique 02, axe de recherche 4, sujet 402-00, juin 2000.
- [14] SETRA, *SURE. Guide Managérial*, Version 4, 2004.
- [15] INRETS, *Diagnostic local de sécurité – Outils et méthodes – Guide méthodologique*, SETRA, 1991.
- [16] SETRA, *Démarche SURE. Guide pour le diagnostic d'itinéraires et pistes d'actions*, 2004.
- [17] BRENAC T., *Analyse séquentielle des accidents de la route (Méthode INRETS). Comment la mettre en pratique dans les diagnostics de sécurité routière*, Rapport INRETS Outils et méthodes, 3, 1997.
- [18] Direction des routes, *Circulaire n° 2002-39 du 16 mai 2002 relative à l'adhérence des couches de roulement et au contrôle de la macrotexture*.
- [19] CETE de Lyon, *Guide méthodologique ALERTINFRA*, 2003.
- [20] CERTU, *Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines*, 1991.
- [21] BRENAC T., *Relations vitesse courbure dévers*, Note technique, SETRA, 1984.