

Incidences des normes de conception sur la sécurité routière

Recherche réalisée pour la Commission Européenne (DG VII)

R-94-7 (F)

H.G.J.C.M. Ruyters; M. Slop & F.C.M. Wegman (réd.)

Leidschendam, 1994

Fondation pour la Recherche Scientifique de la Sécurité Routière SWOV, Pays-Bas

Fondation pour la Recherche Scientifique de la Sécurité Routière SWOV

P 09bus 1090

2260 AD Leidschendam, Pays-Bas

Téléphone : 31 70 320 93 23

Télécopie : 31 70 320 12 61

Résumé

Une conception optimale de la voirie est essentielle pour la prévention des erreurs humaines dans la circulation routière, ces dernières étant à l'origine de la majorité des accidents. Dans cette optique, il convient d'appliquer de manière systématique et cohérente trois grands principes de sécurité

- empêcher une utilisation inadéquate des voies
- éviter de grandes disparités de vitesse, de direction et de masse entre les véhicules aux vitesses moyennes et rapides
- bannir l'incertitude parmi les usagers de la route, en favorisant une meilleure anticipation du tracé à suivre et du comportement des autres conducteurs.

On peut raisonnablement attendre d'une conception de la voirie respectant ces trois principes de sécurité une réduction drastique du nombre et de la fréquence des accidents en Europe.

Les normes jouent un rôle essentiel dans la conception de la route. Pourtant, au niveau européen, de telles normes n'existent pas ou sont insuffisamment harmonisées, ce qui augmente le risque et de ce fait contribue à expliquer l'ampleur du problème de sécurité routière observée. Toute action visant à mettre en place ou à harmoniser des normes de conception de la route devrait mener à une meilleure prise en compte des trois principes énumérés ci-dessus et donc à un gain de sécurité.

Le rapport présente les résultats d'une étude réalisée pour la Commission Européenne par la SWOV¹, en collaboration avec une série d'autres instituts européens. La démarche suivie est:

1. état des lieux de la conception des éléments d'infrastructure routière par: (a) l'inventaire des recommandations et traités internationaux avec mention de leur statut juridique; (b) l'inventaire des normes nationales de conception routière et leurs principes fondateurs;
2. analyse du rôle qu'ont joué les arguments en faveur de la sécurité routière lors de l'élaboration de ces normes;
3. détermination des normes de conception les plus performantes, avec explicitation du contexte et des considérations inhérentes à la sécurité routière sous-tendues.

En raison de l'impossibilité pratique de traiter tous les aspects de la conception routière, les études détaillées ont porté sélectivement sur les éléments suivants: profils en travers, y compris terres-pleins centraux et accotements; entrées et sorties d'autoroutes; virages sur routes à deux voies; aménagements pour cyclistes aux carrefours.

Un chapitre introductif propose quelques considérations préliminaires, notamment relatives au statut des normes, à leurs suppositions sous-jacentes, au problème de l'autorisation ou non de marges de tolérance, à la classification des routes, etc. Un autre chapitre synthétise les méthodes de recherche à utiliser lors de la quantification de la relation entre les normes de sécurité routière, les accidents et le comportement des usagers de la route.

¹ Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV -
Fondation pour la Recherche Scientifique de la Sécurité Routière SWOV

L'étude révèle que les normes nationales actuellement en vigueur en Europe ne précisent que rarement l'impact des recommandations en matière d'infrastructures routières sur la sécurité. Des routes sûres exigeraient en effet que soit davantage précisée la relation entre la conception des divers éléments d'infrastructure d'une part et les aspects liés à leur sécurité d'autre part. Ceci faciliterait en outre l'harmonisation des normes de conception visant à relever le degré de sécurité routière dans l'ensemble du territoire européen.

Certains résultats concrets de cette étude font l'objet d'une recommandation d'insertion dans l'ensemble des autorisations relatives au réseau routier transeuropéen TERN.

Table des matières

Avertissement au lecteur

Avant-propos

1. *Introduction*
 - 1.1. Exposé du problème
 - 1.2. Objectifs de l'étude
 - 1.3. Organisation de l'étude
 - 1.4. Structure du rapport

2. *Remarques préliminaires*
 - 2.1. Fonctions de la route
 - 2.2. Critères de conception
 - 2.3. Classification et catégorisation des routes
 - 2.4. Normes de conception
 - 2.5. Harmonisation internationale
 - 2.6. Suppositions sous-tendant la conception des routes
 - 2.6.1. Remarques générales
 - 2.6.2. Chiffres et relations
 - 2.6.3. Statut des normes
 - 2.6.4. Approche systématique
 - 2.7. Marges
 - 2.8. Catégories de routes de sécurité durable
 - 2.8.1. Historique
 - 2.8.2. Philosophie
 - 2.8.3. Principes
 - 2.8.4. Propositions de catégorisation des routes
 - 2.9. Références

3. *Methodes pour l'étude de la relation entre accidents, comportement des usagers de la route et normes de conception routières*
 - 3.1. Introduction
 - 3.2. Approche chronologique de l'évaluation de la sécurité
 - 3.3. Approche transversale de l'évaluation de la sécurité
 - 3.4. Méthodologies des études de comportement
 - 3.5. Référence

4. *Normes routières nationales et internationales: vue d'ensemble des normes de conception géométriques existantes*
 - 4.1. Organisations internationales et normes routières
 - 4.1.1. Introduction
 - 4.1.2. Union Européenne
 - 4.1.3. Nations Unies - Commission Economique pour l'Europe
 - 4.1.4. Conseil Européen des Ministres des Transports
 - 4.1.5. Comité Européen de Normalisation
 - 4.1.6. Autres organisations
 - 4.1.7. Conclusion
 - 4.2. Normes routières nationales
 - 4.3. Références

- 5. *Etudes détaillées*
- 5.1 Profil des chaussées
 - 5.1.1. Introduction
 - 5.1.2. Eléments influençant les normes de largeur
 - 5.1.3. Critères de base pour le dimensionnement des profils en travers dans les normes nationales
 - 5.1.4. Conclusions et recommandations
- 5.2 Normes de conception des terre-pleins, des accotements et des bermes
 - 5.2.1. Introduction
 - 5.2.2. Autoroutes en zone rurale
 - 5.2.3. Consensus et divergences entre les pays de l'UE
 - 5.2.4. Recherche à entreprendre
 - 5.2.5. Références
- 5.3 Entrées et sorties sur autoroutes
 - 5.3.1. Introduction
 - 5.3.2. Sécurité routières et flux de trafic
 - 5.3.3. Comparaison des directives
 - 5.3.4. Marquage, signalisations et réglementations opérationnelles
 - 5.3.5. Conclusions et recommandations
- 5.4 Virages sur routes à deux voies
 - 5.4.1. Sécurité dans les virages, résultats de recherche
 - 5.4.2. Prise en compte de la sécurité dans les normes de conception relatives aux virages
 - 5.4.3. Signalisation des courbes
 - 5.4.4. Principales conclusions et propositions
 - 5.4.5. Référence
- 5.5 Aménagements pour les cyclistes aux intersections
 - 5.5.1. Introduction
 - 5.5.2. Terminologie
 - 5.5.3. Comparaison entre pays et conclusions
 - 5.5.4. Références
- 6. *Normes les plus performantes*
- 6.1. Introduction
- 6.2. Considerations préliminaires
- 6.3. Methodes de recherche
- 6.4. Normes de conceptions routière internationales et nationales
- 6.5. Etudes détaillées
 - 6.5.1. Conception du profil des chaussées
 - 6.5.2. Terre-pleins centraux et latérales, accotements
 - 6.5.3. Amenagement des entrées et des sorties d'autoroutes

Avertissement au lecteur

Le présent volume constitue le rapport central de l'étude relative aux impacts des normes de conception routière sur la sécurité; l'étude fut réalisée en 1993-1994 par la SWOV, en collaboration avec d'autres partenaires européens. On trouvera ci-dessous la liste des annexes accompagnant le rapport.

Le projet a bénéficié du soutien financier de la Commission de l'Union Européenne, sans pour autant qu'aucun organe de celle-ci n'assume la responsabilité du contenu de cette publication.

Le rapport central réunit les contributions de divers auteurs, mises en forme par la SWOV et publiées en anglais et en français. Les annexes, de différentes origines, n'ont pas été retravaillées, mais sont publiées telles que les ont fournies leurs auteurs. La responsabilité de la SWOV ne saurait donc aucunement être engagée pour des publications issues d'auteurs lui étant étrangers.

L'intégralité de cette publication inclut les rapports suivants:

Rapport central: Incidences des normes de conception sur la sécurité routière.

H.G.J.C.M. Ruyters, M. Slop & F.C.M. Wegman (Réd.); Fondation pour la Recherche Scientifique de la Sécurité Routière SWOV, Leidschendam, Pays-Bas

Annex I: Road classification and categorization (en anglais)

S.T.M.C. Janssen; SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands

Annex II: Assumptions used in road design (en anglais)

M. Slop; SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands

Annex III: Methods for investigating the relationship between accidents, road user behaviour and road design standards (en anglais)

G. Maycock & I. Summersgill; Transport Research Laboratory, Crowthorne, England

Annex IV: International organizations and road design standards (en anglais)

H.G.J.C.M. Ruyters; SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands

Annex V: National road design standards (en anglais)

H.G.J.C.M. Ruyters; SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands

Annex VI: Road cross-section (en anglais)

L. Michalski; Technical University of Gdansk, Gdansk, Poland

Annex VII: Road design standards of medians, shoulders and verges (en anglais)

C.C. Schoon; SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands

Annex VIII: Design features and safety aspects of exit and entry facilities on motorways in the EC (en allemand)

J. Steinbrecher; Aachen, Germany

Annex IX(E): Curves on two-lane roads (en anglais)

Annex IX(F): Virages sur routes à deux voies

T. Brenac; Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, Salon-de-Provence, France

Annex X: Bicycles at intersections in the Danish Road Standards (en anglais)

L. Herrstedt; Danish Road Directorate, Copenhagen, Denmark

Annex XI: Bicycle facilities at intersections (en anglais)

M.P. Hagenzieker; SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands

Annex XII: Bibliography (en anglais)

Avant-propos

La sécurité des transports, routiers en particulier, constitue l'une des préoccupations majeure pour tous les responsables politiques de l'Union Européenne et de ses Etats membres. Sur la base de rapports émanant de divers experts, la Commission de l'Union Européenne a soumis un programme d'action sur la sécurité routière au Conseil des Ministres, qui l'a approuvé en 1993. S'inspirant de l'une des priorités de ce programme d'action, la Commission (DG VII) et la Fondation pour la Recherche Scientifique de la Sécurité Routière SWOV (Pays-Bas) se sont associés pour mener une étude sur les normes de conception routière et la sécurité routière.

La SWOV, en étroite collaboration avec une série d'autres instituts de recherche et de représentants des responsables des ponts et chaussées dans toute l'Europe, a donc étudié dans quelle mesure une meilleure conception des routes basée sur des normes éprouvées serait susceptible de réduire le nombre impressionnant d'accidents de la route en Europe. Dans cette perspective, la SWOV s'est associée à des experts de différents pays. En vue de faire une synthèse pertinente valable pour les douze Etats membres et de s'assurer le concours des différents experts en la matière, il fut décidé de passer des contrats avec divers instituts et d'organiser des ateliers de travail.

La SWOV souhaite remercier tous les chercheurs qui ont contribué à cette étude en élaborant diverses sections du rapport: Thierry Brenac (INRETS, France), Shalom Hakkert (Technion, Israël), Lene Herrstedt (Vejdirektoratet, Danemark), Geoff Maycock (TRL, Royaume-Uni), Lech Michalski (Université Technique de Gdansk, Pologne), Jürgen Steinbrecher (Allemagne), ainsi que nos collègues de la SWOV Marjan Hagenzieker, Theo Janssen, Herald Ruyters, Chris Schoon, Pim Slop et Fred Wegman.

Des experts émanant de sept pays ont participé à des ateliers au cours desquels la SWOV et les autres auteurs ont pu confronter leurs points de vue et commenter différentes parties des travaux en cours. La SWOV souhaite exprimer ici sa reconnaissance à tous les participants à ces ateliers pour leurs contributions: João Cardoso (LNEC, Portugal), Don O'Cinnéide (University College York, Irlande), Kenneth Kjemtrup (Vejdirektoratet, Danemark), Wilhelm Kockelke (Universität Siegen, Allemagne), Sandro Rocci (Euroconsult, Espagne), Roland Weber (BAST, Allemagne). Messieurs Luc Werring et Eduardo Morere Molinero, de la Commission Européenne, Délégation Générale des Transports, ont également participé de manière significative.

Outre leur collaboration au contenu et à la rédaction, Herald Ruyters, Pim Slop et Fred Wegman ont géré le projet avec une efficacité qui a permis de le mener à bien dans les délais.

Nous espérons que les résultats de cette recherche retiendront l'attention de la Commission Européenne et de l'ensemble des institutions et organismes internationaux concernés.

Matthijs Koomstra
Directeur de la SWOV

1. Introduction

1.1. Exposé du problème

Chaque année, les accidents de la route provoquent la mort de 50.000 personnes et en blessent plus d'un million et demi dans l'Union Européenne. Ces statistiques sont vécues comme inacceptable par tous les Etats membres de l'Union Européenne et par les institutions européennes elles-mêmes

Dans de nombreux Etats membres de l'UE, le nombre de tués et de blessés atteignit un niveau maximum vers le début des années soixante-dix. Au cours des années qui suivirent, on réussit à réduire considérablement le nombre des victimes de la route, malgré une mobilité sans cesse croissante. Cette amélioration de la situation résulte de deux facteurs autonomes: une modification dans le volume du trafic, résultant de la croissance démographique et économique et mesurable par le kilométrage annuel parcouru par les usagers de la route, et le changement dans le taux d'accidents, exprimé en nombre de morts par kilomètre. Pour la plupart des pays dans le monde, le kilométrage parcouru s'accroît chaque année tandis que le taux de mortalité routière décroît régulièrement. Cependant, l'allure de cette dernière diminution diffère d'un pays à l'autre. Cette diminution du taux de mortalité au fil des années peut s'interpréter comme l'effet plus ou moins constant des améliorations considérables apportées à notre système de transport routier: de meilleures routes, de meilleurs véhicules et des conducteurs mieux formés et plus expérimentés.

Tous les pays ont pris et prennent encore des mesures, telles qu'une législation répressive (par exemple concernant l'alcoolémie ou l'utilisation de la ceinture de sécurité), l'amélioration de l'infrastructure routière (extension du réseau d'autoroutes qui offrent une relative sécurité, aménagements spécifiques pour les usagers de la route vulnérables), application de normes imposées aux véhicules plus sévères... Bien qu'il soit pratiquement impossible de déterminer les effets de chaque mesure sur les statistiques des accidents de la route, on peut affirmer qu'il est possible d'agir sur la sécurité routière.

La cause d'un accident de la circulation n'est que rarement isolée. Il s'agit le plus souvent d'une combinaison de facteurs dans laquelle l'être humain, la route et le véhicule jouent chacun un rôle. La clé d'une amélioration notable de la sécurité routière réside dans la création d'une infrastructure adaptée aux limitations ainsi qu'aux limites humaines, grâce à une conception adéquate du réseau routier. En outre, les véhicules devraient simplifier les tâches du conducteur et être construits de manière à protéger aussi efficacement que possible l'être humain, vulnérable par nature. Enfin, il est important que l'utilisateur de la route soit convenablement formé, informé et, là où c'est nécessaire, contrôlé.

Une conception adaptée des routes est indispensable pour éviter les erreurs humaines de la circulation, et une diminution des erreurs humaines se traduira par une diminution du nombre d'accidents. La prévention

des erreurs humaines exige l'application systématique et conséquente de trois principes de sécurité:

- empêcher une utilisation inadéquate des voies après en avoir défini la fonction: fonction de flux (traitement rapide du trafic de passage), fonction de distribution (accessibilité rapide des zones résidentielles et autres) et fonction d'accès (accessibilité de destinations situées le long d'une rue);
- éviter des grandes disparités de vitesse, de direction et de masse entre les véhicules aux vitesses moyennes et rapides, c'est-à-dire limiter d'avance les risques de conflits graves;
- bannir l'incertitude parmi les usagers de la route, c'est-à-dire augmenter la prévisibilité du tracé des routes et du comportement des individus sur la route.

On peut s'attendre à ce qu'une conception adéquate des routes respectant ces principes de sécurité réduise considérablement le nombre d'accidents et les taux d'accidents, par rapport à la situation actuelle en Europe. Cependant, il faut admettre que l'on ne comprend pas bien d'un point de vue quantitatif les relations entre sécurité et caractéristiques physiques des routes. Comme nous l'avons dit plus haut, un certain nombre de facteurs (conducteur, véhicule, circonstances augmentant les risques, réglementation de la circulation, etc.) empêchent de déterminer clairement les relations entre conception des routes et sécurité routière.

Les normes routières jouent un rôle essentiel dans la conception des routes dans tous les Etats membres de l'UE. Mais on se heurte de nos jours à des problèmes importants dans ce domaine. Tout d'abord, les états n'ont pas systématiquement de normes de conception pour tous les types de routes. De plus, même si ces normes existent, en plus de leur possible inapplication, il subsiste une certaine marge d'interprétation menant à des réalisations sur le terrain différentes, y compris à l'intérieur d'un même pays. En outre, tous les pays n'ont pas une même approche de la question.

Par suite de l'absence de preuves irréfutables sur les relations entre la sécurité et la conception des routes, les commissions chargées de l'établissement de normes pour la conception de routes se basent en grande partie sur leur propre jugement et non sur des résultats de recherche. Elles sont généralement enclines à utiliser "la meilleure information existante et disponible". C'est-à-dire que, faute de mieux, elles se réfèrent la plupart des fois à un petit nombre d'études bien connues et fréquemment citées. L'application dans les pays européens de l'ouvrage américain, Highway Capacity Manual, dans les années cinquante et soixante, en est un exemple célèbre; l'absence de résultats appropriés de recherches européennes justifiait cette démarche.

La non-disponibilité et la non-conformité de normes de conception des routes pour le réseau routier européen augmentent les risques et expliquent donc l'importance du problème de la sécurité routière dans ce continent. Les activités concentrées sur la disponibilité de normes routières et leur conformité mutuelle sont pensées mieux répondre aux "trois principes de sécurité routière" et devraient donc aboutir à une amélioration de la sécurité routière. Avec l'augmentation de la circulation transfrontalière, cette argumentation s'applique encore davantage à l'harmonisation des normes routières au niveau de l'UE.

1.2. Objectifs de l'étude

Les objectifs du projet sont les suivants:

- dresser un inventaire des connaissances actuelles relatives à la conception de tous les éléments de l'infrastructure routière;
 - (a) un inventaire des traités internationaux et des études et recommandations faites par des instances internationales; la compétence de ces instances; la portée légale de ces traités et recommandations et leurs conséquences pour la sécurité routière,
 - (b) un inventaire des normes de conception des routes à un niveau national et des bases sur lesquelles elles ont été établies;
- analyser le rôle joué par les arguments en faveur de la sécurité routière dans l'établissement des normes de conception des routes;
- définir une "méthode optimale" pour l'établissement de normes routières, explicitant les considérations, les informations générales et les suppositions concernant la sécurité routière.

Les résultats provisoires de ce projet sont présentés à l'organisation chargée du réseau routier transeuropéen (TERN), plus particulièrement au Groupe d'Action #2 qui travaille sous l'autorité du Groupe de Travail Autoroutes, chargé de la normalisation de la typologie des routes (START). Le groupe d'action START a pour missions de définir: un niveau européen de qualité en termes d'homogénéité dans la configuration des routes proprement dites et d'harmonisation de leur entretien; des normes uniques de signalisation routière; ainsi qu'un système d'informations routières générales, de structures de repos, de service et d'informations aux automobilistes. L'étude accorde une grande place aux deux premiers sujets.

L'étude porte non seulement sur les autoroutes, mais également sur d'autres types de routes. La majorité des accidents se produit sur les routes secondaires en dehors des agglomérations et sur les routes dans les agglomérations. Il semble que la situation puisse considérablement s'améliorer sur ces types de routes.

1.3. Organisation de l'étude

La Commission Européenne (DG VII) a accordé une subvention pour la réalisation de cette étude. La Fondation pour la Recherche Scientifique de la Sécurité Routière SWOV a établi un plan de mission dans les premiers mois de 1993. Afin d'améliorer les possibilités de collecte d'informations pour les douze Etats membres et d'obtenir la meilleure participation possible des experts dans ce domaine, il a été décidé d'organiser deux ateliers regroupant des experts de sept pays. En outre, la SWOV a décidé d'inviter des instituts à effectuer certaines parties de l'étude: le Transport Research Laboratory au Royaume-Uni, l'INRETS en France, l'Université technique de Gdansk en Pologne, le bureau d'ingénieurs Steinbrecher en Allemagne et le ministère danois des transports.

Le premier atelier porta sur la structure et le contenu du rapport, tandis que le second atelier proposait des débats sur les avant-projets de chacun des chapitres. Nous considérons cette consultation d'experts de différents Etats membres comme une méthode de travail idéale pour ce genre d'étude.

1.4. Structure du rapport

Ce rapport est basé sur les onze contributions décrites aux Annexes I-XI. Il en synthétise les principaux résultats, conclusions et recommandations. Le chapitre 2 propose des considérations préliminaires relatives aux normes de conception et à la manière dont elles intègrent les arguments relatifs à la sécurité routière. Ce chapitre recense les éléments importants à cet égard, et notamment le statut des normes ou directives, les suppositions sous-jacentes, les marges de tolérance qu'elles incorporent, etc. Le chapitre 3 résume les méthodes de recherche à utiliser lors de la quantification de la relation entre les normes de conception, les accidents et le comportement des usagers de la route. Le chapitre 4 décrit et analyse les compétences de certaines organisations internationales en matière de normes de conception ainsi que les normes nationales et les accords internationaux relatifs à cet égard. En raison de l'impossibilité pratique de traiter tous les aspects de la conception routière, seuls quelques-uns d'entre eux ont fait l'objet d'études approfondies. Les résultats de ces études sont présentés au chapitre 5: conception des profils en travers (section 5.1) et des terre-pleins centraux et accotements (section 5.2). Les paramètres et divers aspects relatifs à la sécurité des dispositifs d'entrée et de sortie des autoroutes sont présentés à la section 5.3. La section 5.4 traite des virages sur des routes à deux voies et la section 5.5 de l'aménagements pour les cyclistes aux carrefours. Enfin, le chapitre 6, intitulé 'Modalités performantes', présente les conclusions et recommandations de l'étude.

2. Remarques préliminaires

2.1. Fonctions de la route

Les routes sont construites pour remplir une fonction principale: permettre aux personnes et aux biens de se déplacer d'un endroit à un autre. Outre cette fonction globale de circulation, on peut établir une distinction entre les différentes voies en fonction de la part du processus de transport auxquelles elles participent: certaines routes sont destinées uniquement au trafic de longue distance, d'autres desservent une zone comportant plusieurs destinations, certaines enfin permettent l'accès à des destinations finales ou aux véhicules de se garer à la fin d'une promenade. Dans les paragraphes suivants, nous ferons une distinction entre certains aspects de la fonction de la circulation:

- la fonction de flux: traiter rapidement le trafic de longue distance;
- la fonction de distribution: rendre les quartiers et les régions accessibles;
- la fonction d'accès: permettre d'atteindre les propriétés.

La distinction entre ces différentes fonctions n'est pas toujours claire. Actuellement, la plupart des routes sont *multifonctionnelles*, c'est-à-dire qu'elles assument différents éléments de la fonction de circulation dans des combinaisons variées; et c'est précisément ce qui provoque des problèmes, car les trois éléments de la fonction de circulation exigent des conceptions contradictoires. Le trafic de longue distance, par exemple, va de pair avec des vitesses élevées, tandis que l'accès aux propriétés implique des vitesses faibles.

Dans les agglomérations, on peut distinguer une autre fonction importante de la route (ou plutôt de l'espace public auquel appartient la route): permettre aux habitants de rester près de leur domicile pour les contacts sociaux et les loisirs. Au cours des dernières décennies, les concepteurs de routes y ont accordé une attention croissante, en particulier dans les zones résidentielles. La contradiction entre les exigences permettant de satisfaire à cette *fonction résidentielle* et la fonction de circulation ou certains aspects de celle-ci est encore plus marquée. Seule, la fonction d'accès d'une route pourrait dans une certaine mesure être combinée à la fonction résidentielle. On trouvera en Annexe I, Chapitre 4 (Janssen, 1994) de plus amples informations sur les différentes fonctions des routes.

2.2. Critères de conception

Les routes sont conçues afin de satisfaire à un grand nombre d'impératifs parmi lesquels le temps de parcours, le confort et la commodité, la sécurité, l'environnement, la consommation d'énergie, le coût, l'urbanisme et l'aménagement du territoire. La démarche est qualitative pour certains critères, et quantitative pour d'autres.

La plupart de ces impératifs interagissent ou sont même incompatibles. L'art de concevoir une route consiste principalement à donner le poids qui convient à chacun des critères, afin de trouver la solution la plus satisfaisante.

Les différents critères ne sont pas traités de la même manière. Certains sont explicitement pris en compte au cours du processus de conception, tandis que d'autres sont implicitement autorisés dans une ou plusieurs phases du processus. Certains font parfois l'objet de normes spécifiques et soient donc traités à un niveau séparé.

Il n'est pas simple, dans ces conditions, d'attribuer le "poids adéquat" à chaque critère; et lorsque l'importance à accorder aux critères est fonction de facteurs politiques, le résultat final est imprévisible.

La sécurité compte généralement parmi les critères autorisés implicitement. à chaque étape du processus de conception, le concepteur est supposé avoir constamment la sécurité à l'esprit en prenant des décisions, mais il est rare que des décisions soient uniquement basées sur la sécurité. Ainsi, à la fin du processus, il est difficile de savoir dans quelle mesure la sécurité a été prise en compte.

En règle générale, la sécurité n'occupe pas une position privilégiée et doit subir la concurrence des autres critères. La sécurité peut occuper une position particulière seulement dans le cas où la raison immédiate exigeant que l'on conçoive un nouveau plan d'une situation (plutôt que d'une route complète) est une situation existante dangereuse, par exemple dans le cas d'études de points noirs.

En règle générale, la sécurité présente quatre niveaux:

1. La sécurité obtenue grâce à une attention particulière accordée au cours du processus détaillé de conception de la route.

Les concepteurs de routes n'ont pas toujours les connaissances requises ni la disposition d'esprit nécessaire pour accorder l'attention qu'il convient à la sécurité. De toutes manières, comme nous avons mentionné ci-dessus, il est difficile de déterminer l'influence de la sécurité dans le projet final. On peut atteindre des niveaux plus élevés de sécurité en apportant des améliorations dans ce domaine. Nous n'approfondirons pas davantage cette question ici.

2. La sécurité obtenue grâce au respect des critères et des normes de conception des routes.

Chaque élément de la conception mis en oeuvre de manière adéquate comporte un certain niveau de sécurité. Bien que, comme nous le décrivons ci-dessous, ce lien ne soit pas aussi fort qu'on le croyait auparavant, il constitue toujours la pierre angulaire de la conception géométrique. Nous examinons au paragraphe 2.4 divers aspects des normes de conception des routes.

3. Le niveau de sécurité qui peut être atteint grâce à la classification des routes.

On sait maintenant que certains types de routes peuvent présenter des niveaux élevés de sécurité, en particulier les types de routes devant remplir une des fonctions particulières que nous avons mentionnées précédemment: autoroutes ne servant qu'aux parcours de longue distance, et rues aménagées suivant les critères spécifiques des zones résidentielles. On peut renforcer la sécurité en appliquant convenablement la classification routière. Ce sujet est abordé au paragraphe 2.3.

4. La sécurité (explicite) offerte par le système conceptuel de transport satisfaisant aux besoins de mobilité.

La sécurité est rarement considérée à ce niveau. Étant donné les limitations aux niveaux de sécurité que l'on atteint et que l'on peut atteindre grâce au processus traditionnel de conception des routes, il est peut-être temps d'adopter une formulation plus explicite des niveaux de sécurité. Les connaissances actuelles dans le domaine des niveaux de sécurité (en termes d'accidents et de blessés ou tués par km véhicule ou par km voyageur) s'appliquant aux divers modes de transport (rail, cars, automobiles, etc.) et dans le domaine des divers types de routes (autoroute, artère, rue à vitesse limitée à 30 km/h, cour urbaine) devraient nous conduire à formuler les niveaux requis de sécurité en fonction desquels tout le réseau routier devrait être conçu.

Depuis peu, les Pays-Bas font une tentative dans ce sens en développant la notion de *sécurité durable* qui consiste à créer une infrastructure de transport offrant un niveau acceptable de sécurité dans le temps (SWOV, 1993).

Récemment encore, un certain nombre de pays (en particulier le Royaume-Uni) ont entamé une procédure appelée *audit de sécurité* associée à la conception de grands projets de construction de routes. L'audit assure une analyse indépendante du processus de conception, afin de garantir que l'on atteigne le niveau le plus élevé possible de sécurité et que le projet ne contienne aucun détail de conception pouvant être préjudiciable à la sécurité.

Finalement, tandis que la sécurité est implicitement incluse dans le processus de conception du fait même qu'elle est liée aux différents éléments de la conception, elle peut également être considérée dans le contexte plus vaste de l'environnement routier. Une grande proportion d'accidents (jusqu'à 40% des accidents sur autoroutes dans certains pays) ne mettent en cause qu'un seul véhicule qui quitte la route ou se renverse. On pourrait réduire considérablement le nombre et la gravité de ce genre d'accidents en accordant plus d'attention à la *conception des bas-côtés* et au traitement des obstacles sur les bas-côtés.

Quelles que soient les mesures prises, un traitement plus explicite de la sécurité est indispensable.

2.3. Classification et catégorisation des routes

Pour tenter de résoudre les contradictions entre les fonctions mentionnées au paragraphe 2.1 et permettre cependant aux routes de remplir de façon satisfaisante leurs divers rôles, on a généralement recours à la *classification* des routes. L'objectif principal de la classification des routes est de rendre plus claire aux usagers les combinaisons de fonctions d'une route à l'aide de caractéristiques distinctes.

Il faut noter que les systèmes de classification des routes appliqués présentent plusieurs inconvénients: tout d'abord, la classification des routes est souvent utilisée par les gestionnaires de routes comme moyen de distinguer les différentes routes pour d'autres raisons que l'amélioration de la sécurité routière. En outre, de nombreuses routes ne répondent pas aux

critères correspondant aux diverses classes de routes prévues dans les systèmes actuels de classification. La classification des routes peut favoriser la sécurité à condition que le système ait été bien conçu (visé à la sécurité) et mis en place avec logique.

Des améliorations sont possibles à cet égard: mieux viser le système de classification aux usagers de la route et l'appliquer d'une manière logique.

Il y a un autre défaut de la plupart des systèmes de classification des routes. Etant donné qu'une même route peut revêtir plusieurs aspects de la fonction de circulation, les différences entre les classes successives ont tendance à n'être que graduelles, surtout lorsque le nombre de classes est relativement grand. Exprimer toutes ces différences en introduisant des distinctions dans la configuration des routes confère un caractère quelque peu artificiel.

On peut créer une situation fondamentalement meilleure en suivant une méthode développée récemment aux Pays-Bas. Selon cette méthode, chaque route devrait ne présenter qu'un seul des éléments de la fonction de circulation mentionnés plus haut, à savoir ou bien une fonction de flux, ou bien une fonction de distribution, ou bien une fonction d'accès.

Cette nouvelle conception revient à supprimer les combinaisons de fonctions en rendant toutes les routes monofonctionnelles; elle est décrite en détail dans la section 2.8 en tant qu'élément du réseau routier dit "d'une sécurité durable".

2.4. Normes de conception

Dans la plupart des pays, des normes géométriques de conception des routes ont été fixées, leur respect par les ingénieurs devant garantir la bonne qualité de l'ouvrage. Suivant les affirmations (citées librement) de McLean (1980), des normes géométriques servent généralement trois buts principaux:

- assurer l'*uniformité* parmi différentes conceptions, en particulier au-delà des frontières administratives; l'*uniformité* rend les situations de trafic et le comportement de l'usager de la route plus prévisibles, ce qui est considéré comme propice à la sécurité;
- permettre une application plus large des *compétences existantes* en matière de conception routière, qui tendent à être concentrées dans les administrations routières les plus importantes; et
- veiller à ce que les *fonds pour les routes ne soient pas gaspillés* du fait d'une conception inappropriée basée sur des prévisions erronées de la croissance du trafic, la route ne répondant qu'aux besoins actuels de sécurité.

Le premier but mentionné plaide en faveur de n'importe quelle sorte de normalisation; les deux autres exigent une normalisation appropriée.

Pour atteindre ces objectifs, les normes appliquées doivent revêtir un certain caractère *obligatoire*. L'inconvénient principal de ceci est que les normes réduisent les possibilités pour le concepteur de trouver le bon équilibre entre les divers impératifs. Des décisions importantes ont déjà été prises pour lui. Il ne peut plus peser avec soin les différents intérêts.

Dans le meilleur des cas, il ne peut que choisir une solution préétablie parmi deux ou trois solutions possibles.

Mais, même dans ce cas, le concepteur ne dispose généralement pas d'informations suffisantes sur la 'quantité' de sécurité offerte par chacune des solutions types.

Des normes obligatoires inhibent aussi quasiment tout développement novateur.

Il apparaît donc que le statut d'une norme est chose importante, liée de près à celle de sa valeur technique. Nous reviendrons au paragraphe 2.7.3 sur le statut des normes.

Sur la question de la valeur technique des normes, nous citerons de nouveau McLean:

"Les trois fondements principaux pour formuler les normes géométriques de conception des routes étaient: la recherche empirique, un consensus sur la démarche optimale et un cadre rationnel ou logique."

Cette affirmation appelle l'observation suivante. Au fil des années, on a constaté ou supposé que les critères et les normes de conception, tels qu'ils évoluaient, provenaient d'une recherche approfondie. Au cours des dernières décennies, face à l'évolution rapide des paramètres des parcs automobiles et devant les changements d'attitude du public, on s'est interrogé sur le bien-fondé des normes de conception. Se référant aux normes routières actuelles des Etats-Unis, Anderson (1980) affirme catégoriquement qu'elles ignorent une grande partie des véhicules, conducteurs et surfaces routières existants.

La sécurité est supposée être au centre de la plupart des normes routières et de leurs différents éléments. Cependant, Hauer cite un rapport datant de 1987 d'une commission du TRB:

"Malgré l'importance généralement reconnue de la sécurité dans la conception des routes, la recherche scientifique et technique nécessaire pour répondre aux questions sur les relations entre la géométrie de la chaussée et la sécurité est tout à fait limitée, quelquefois contradictoire et en tout cas insuffisante pour établir des corrélations acceptables au plan scientifique."

Hauer (1988) résume alors:

"On rédige les normes, directives, procédures de conception et impératifs qui façonnent le système routier avec la sécurité à l'esprit, mais sans pratiquement aucune connaissance quantitative du lien qui existe entre les décisions d'ordre technique et leurs conséquences sur la sécurité."

Alors que la sécurité aurait dû être une considération majeure dans l'établissement de la plupart des normes de conception et de leurs éléments, il apparaît que ses valeurs implicites supposées font l'objet de critiques sérieuses.

On ne peut améliorer cette situation qu'en instaurant un lien plus étroit entre recherche et normes.

Ceci demande des méthodes d'évaluation fiables (voir chapitre 3).

2.5. Harmonisation internationale

En principe, l'harmonisation internationale des critères et normes de conception routières en Europe offre les mêmes avantages et inconvénients que l'établissement de normes nationales, mais sur une échelle plus grande et internationale. Les normes de conception varient actuellement beaucoup d'un pays à l'autre, de fait de différences lors de la prise en compte implicite des impératifs de sécurité dans les diverses procédures de conception. Pour certains éléments, on constate quelque harmonie entre les normes appliquées, tandis que, pour d'autres, les différences sont grandes. Cette constatation est inquiétante, surtout si l'on considère que le tourisme et le commerce vont continuer de s'accroître avec l'Union Européenne et le développement des relations Est-Ouest.

Dans le passé, on a tenté, avec plus ou moins de succès, d'harmoniser des éléments de différentes normes. Certaines tentatives ont conduit à des accords internationaux ensuite traduits dans les législations nationales; d'autres ont seulement renforcé une certaine tendance à proposer une harmonisation internationale sur une base de volontariat. On peut fortement encourager ces deux modes d'harmonisation en présentant des résultats sérieux de recherches.

Les taux d'accidents mortels diffèrent considérablement entre les pays de l'UE. L'harmonisation des normes routières se fera plutôt au niveau des normes les plus élevées acceptées dans certains pays, ce qui entraînera un rehaussement du niveau de la sécurité dans les autres pays. Ici apparaît un des inconvénients de l'harmonisation: il est très probable (quoique pas sûr) que l'adoption de normes routières plus sévères s'accompagne de coûts plus élevés. Le changement radical des normes qui peut être nécessaire dans certains pays constitue un autre inconvénient.

Les comportements et cultures de conduite différents que l'on observe actuellement dans les divers pays peuvent également constituer un obstacle à l'harmonisation. Néanmoins, sur les autoroutes pour le moins, de telles différences devaient être éliminées aussi rapidement que possible.

2.6. Suppositions sous-tendant la conception des routes

2.6.1. Remarques générales

La plupart des normes routières donnent des instructions précises pour la configuration de chacun des éléments de la route: les dimensions ou même des plans complets sont fournis. Mais il est rare que des informations sur le fond de ces instructions leurs soient jointes. On ne donne aucune indication sur l'importance relative accordée à la sécurité routière, par rapport au volume du trafic, à la facilité d'accès aux destinations, à l'environnement, aux coûts, etc. Il est même fréquent qu'on ne sache pas dans quelle mesure une norme déterminée a été basée sur des données chiffrées et des rapports factuels, et dans quelle mesure elle a été basée sur de simples suppositions. On ne peut changer des données factuelles, mais des suppositions on peut éventuellement modifier ou du moins en dévier. Il faudrait donc connaître le degré de rigidité d'une certaine supposition; et il faudrait également savoir s'il s'agit d'une supposition fondamentale ou bien d'une supposition occasionnelle.

On pourrait considérer comme suppositions fondamentales les suppositions à caractère universel qui ne sont pas susceptibles de varier d'un pays à l'autre parce qu'elles se réfèrent à des données chiffrées objectives.

Du moins ne devraient-elles pas varier. Mais les suppositions de ce type intégrées aux normes nationales ne sont pas du tout identiques. Ceci explique en partie les différences entre certaines valeurs accordées à des éléments concrets de la conception, par exemple au rayon minimal d'une courbe verticale convexe.

Il est donc nécessaire d'harmoniser en premier lieu les suppositions fondamentales. Ce travail devrait être relativement aisé car le caractère objectif de ces suppositions ne devrait pas poser trop d'obstacles à l'harmonisation.

Nous avons essayé de trouver des documents sur les suppositions fondamentales des différents normes nationales. Il est apparu qu'il est difficile de se procurer des informations sur ces suppositions. Dans les normes néerlandaises pour les autoroutes et les routes non autoroutières en dehors des agglomérations, des volumes entiers ont été consacrés à ce qui est appelé les "critères de base". De même, dans les directives danoises pour les zones de circulation urbaines, un volume séparé traite des "prémises de la conception géométrique". Dans d'autres normes, ce type d'information est soit absent, soit, au mieux, noyée dans le texte.

Il semble que l'information sur les suppositions fondamentales dans le domaine de l'ingénierie de la circulation se trouve dans des manuels plutôt que dans les normes nationales. Mais la présente étude ne portait pas sur les manuels. Une première liste provisoire des éléments qui pourraient être considérés comme des suppositions fondamentales, est donnée en Annexe II de ce rapport (Slop, 1994).

Du fait de l'absence presque générale de présentations séparées des suppositions fondamentales, il est difficile de dire clairement ce qu'il faut entendre par suppositions fondamentales. C'est pourquoi nous avons d'abord examiné ce qu'impliquent les suppositions fondamentales (voir paragraphe 2.6.2). Au fil de cette opération, l'idée a été née de développer une approche systématique du problème, idée présentée au paragraphe 2.6.4.

2.6.2. Chiffres et relations

D'une manière générale, quand on conçoit une route - à l'aide de normes ou non - on utilise fréquemment des chiffres et des relations, mais ces chiffres et relations ne sont pas tous aussi solidement fondés. Il faut faire une première distinction entre:

- chiffres et relations factuels et
- chiffres et relations supposés.

Les *chiffres factuels* sont obtenus en observant la réalité. S'il s'agit de données matérielles invariables, une seule observation suffit et, naturellement, un seul chiffre est juste (type F1).

Exemples: les dimensions d'un véhicule déterminé; les mesures de la situation existante.

Si une quantité peut avoir plusieurs valeurs, il faut effectuer plusieurs observations pour avoir une idée de la gamme des valeurs possibles. Dans ce cas, l'information peut être donnée sous forme de distribution statistique, ou de moyenne avec indication de la variation (type F2).
Exemples: la distribution des longueurs de voitures; les vitesses usuelles des véhicules sur une route, avec déviation standard.

Certaines données ne sont pas observables directement. Il faut les déterminer d'une autre manière, par exemple à l'aide de statistiques externes. Les chiffres empruntés aux statistiques pour un cas particulier sont également considérés ici comme des chiffres factuels, tant qu'ils ne peuvent probablement pas faire l'objet de contestations (type F3).

Exemples: le pourcentage de personnes handicapées; le taux d'accidents sur les types de routes actuels.

Les chiffres factuels sont normalement plus ou moins constants dans le temps. Ils n'évoluent que lentement. Toutefois, ils peuvent différer grandement d'un pays à l'autre. La plupart des informations de ce genre nécessaires pour une mission de conception sont connues d'une manière ou d'une autre, seules les informations très spécifiques doivent parfois encore être recueillies.

On entend ici par *relations factuelles* des relations logiques, des relations mathématiques et des relations physiques qui ne font pas l'objet de controverse (type FR).

Exemple: la distance d'arrêt dans une situation particulière, étant donné la vitesse initiale et la décélération.

Les chiffres et les relations factuels constituent les données de base pour la conception des routes, mais ne suffisent pas. Les chiffres et les relations factuels peuvent même ne représenter qu'une minorité des données sur lesquelles le concepteur s'appuiera. En outre, l'ingénieur en circulation doit constamment faire des suppositions pour obtenir des points de départ exploitables.

Dans tous les cas où une certaine valeur pour une quantité est nécessaire, mais inconnue et impossible à obtenir, on *suppose* un *chiffre*. On procède en choisissant une valeur dans une gamme de valeurs factuelles, par exemple la moyenne, ou bien, dans d'autres cas, le 85ème centile d'une distribution. Si ce choix est basé sur une opinion courante parmi les spécialistes de la question, on peut classer la supposition comme étant généralement acceptée. Dans les autres cas, la supposition est basée sur une ou plusieurs études dont le résultat est présumé généralement applicable. Les "utilisateurs" de cette supposition se reposent sur l'autorité de l'auteur de la supposition. Ces différents cas composent ici le type A1.

Exemples: le temps de réaction de l'être humain; le dimensionnement des véhicules de référence.

Dans certains cas, un chiffre choisi de cette manière n'est pas destiné à donner une approximation de la réalité existante, mais une valeur cible destinée à créer une situation souhaitée. Ces chiffres donnent parfois l'impression d'être choisis plus ou moins arbitrairement (type A2).

Exemples: la vitesse de conception; les coefficients de friction; les pentes acceptables.

Les chiffres sont parfois calculés comme le résultat de relations factuelles. Mais si les paramètres utilisés dans les calculs sont des chiffres supposés, le résultat peut toujours avoir seulement le statut de "chiffre supposé". Plus haut, par exemple, nous avons présenté la distance d'arrêt comme une relation factuelle de la vitesse initiale et de la décélération. Mais pour pouvoir indiquer une distance de visibilité nécessaire dans une situation donnée, il faut supposer une vitesse initiale maximum et une décélération minimum.

On peut entendre par *relations supposées* les relations reposant sur des théories qui décrivent un processus d'une telle manière qu'il peut servir de base à des calculs (type AR).

Exemples: le traitement de l'information relative aux êtres humains; la théorie de l'influence des différentes sortes d'irrégularités des surfaces sur la résistance au dérapage.

Le concepteur peut formuler lui-même les suppositions de chiffres et de relations, mais ceci est généralement fait pour lui d'avance. C'est parfois le législateur qui s'en est chargé; il s'agit alors de "suppositions légales". Ou bien d'autres ingénieurs l'ont fait pour lui; on parle alors de "pratique courante". D'une manière générale, les normes routières tendent à réduire la quantité des conceptions réelles en prescrivant ou recommandant l'utilisation de certains chiffres et relations supposés.

2.6.3. Statut des normes

Il semble que la nature des points de départ et des données utilisés par les ingénieurs en circulation soit très hétérogène. Dans de nombreux cas, ce dernier ignore même l'origine des chiffres et des relations qu'il utilise. Certains ingénieurs auront tendance à accepter tels quels n'importe quel chiffre ou n'importe quelle relation qu'ils peuvent trouver, du moment qu'ils peuvent les intégrer dans leur démarche. Dans ce sens, n'importe quelle donnée écrite peut être utilisée comme une sorte de norme.

Moins un chiffre ou une relation correspondent aux conditions de la situation ou à l'objectif d'une conception, plus un concepteur tendra à s'informer sur le contexte dans lequel ce chiffre ou cette relation ont été formulés, afin de découvrir leur nature exacte, et de les soumettre éventuellement à un débat. Il peut alors apparaître que le classement des chiffres et relations conformément à la classification proposée au paragraphe 2.6.2 n'est pas toujours si aisé.

Il faut connaître le contexte de l'établissement d'une norme pour pouvoir en déterminer la fiabilité. Les normes basées uniquement sur des chiffres et des relations factuels devraient compter parmi les plus fiables, mais elles ne sont pas nombreuses. La plupart des normes sont en grande partie, sinon entièrement, fondées sur des suppositions plus ou moins réalistes.

Les normes néerlandaises pour les voies urbaines présentent un essai de classification des normes en fonction de leur fiabilité. On y trouve les distinctions suivantes:

- *réglementations à respecter* (*****);
- *directives à n'écarter qu'avec une raison sérieuse* (****),

- *recommandations* à suivre de préférence parce que leur effet est supposé propice (***);
- *suggestions* dont on espère un effet propice (**);
- *possibilités* dont on pressent seulement un effet propice (*).

Cette classification ne repose pas uniquement sur des arguments techniques. Certaines configurations peuvent être classées dans la catégorie 5 étoiles, non pas parce qu'elles représentent la solution la plus sûre à un problème, mais simplement parce qu'elles sont prescrites, souvent en fonction de considérations d'un autre ordre.

Pour mieux connaître la fiabilité "technique" d'une norme spécifique, il faut analyser le raisonnement sous-jacent et la nature des suppositions faites. Il peut apparaître que la sécurité routière n'a pas été le seul critère. Un "effet propice" peut aussi se référer par exemple à la combinaison de la sécurité avec d'autres aspects. Dans ce cas, un aménagement n'ayant qu'un effet modéré sur la sécurité peut toutefois être recommandé parce qu'il n'affecte pas défavorablement le flux du trafic et que c'est une solution bon marché.

A titre d'exemple, nous donnons ci-dessous une brève analyse de ce genre: il s'agit de la forme d'une courbe verticale au sommet d'une crête.

Les côtes immédiatement suivies d'une descente posent un problème spécifique, la visibilité étant limitée par le sommet. Les usagers de la route ne peuvent donc pas apercevoir un obstacle placé derrière le sommet à temps pour s'arrêter. Les normes de conception pour la forme de ces courbes sont généralement basées sur le raisonnement suivant.

La courbure doit être suffisamment plane pour qu'un automobiliste s'approchant (avec une hauteur de vue supposée minimale) puisse voir un obstacle d'une hauteur supposée minimale à une distance suffisante afin de pouvoir s'arrêter avant l'obstacle. Cette distance est déterminée en particulier par la vitesse d'approche de la voiture, la visibilité de l'obstacle, le temps de perception et de réaction du conducteur, la puissance de freinage de la voiture et le coefficient de friction de la surface de la route. Il faut supposer des chiffres pour chacun de ces facteurs.

2.6.4. *Approche systématique*

On manque de connaissances plus approfondies sur la fiabilité technique des normes pour les examiner de la manière la plus appropriée, en particulier sur le plan de la sécurité. La démarche décrite brièvement point par point ci-dessous permet cet analyse.

1. Etablir un système de classification pour les suppositions (et les faits), en s'inspirant par exemple de la tentative faite au paragraphe 2.6.2.
2. Classer chaque supposition (ou fait) selon ce système.
3. Attribuer un degré de fiabilité technique à chaque supposition, suivant que l'hypothèse est solidement fondée sur une étude, par exemple comme au paragraphe 2.6.3. (Les faits étant des faits, leur degré de fiabilité est de 100%; malheureusement, il est rare que des faits peuvent être utilisés comme point de départ).

- 4 Examiner sur quelles suppositions (ou quels faits) une norme particulière a été fondée.
- 5 Tirer une conclusion sur la fiabilité technique de la norme.
- 6 Veiller à ce que le degré de fiabilité technique d'une norme soit pris en compte dans son statut.
- 7 Etablir un lien entre le statut d'une norme et les possibilités d'écarts par rapport à cette norme.

2.7. Marges

Les normes nationales comportent parfois des marges explicites autour de certaines valeurs pouvant être utilisées par le concepteur "en cas de nécessité". Malheureusement, elles indiquent rarement le genre de situation supposée correspondre à cette nécessité.

Dans le cadre de l'harmonisation internationale, la question de savoir comment traiter les écarts par rapport aux normes sera posée à maintes reprises. Doivent-ils être tolérés et, si oui, dans quelles conditions? Faut-il prévoir des marges pour les normes nationales, tant vers le haut que vers le bas? Si des critères inférieurs sont admis, quelles en seront les conséquences, en particulier en termes de sécurité et de coûts?

Il est envisageable d'instaurer un système cohérent de marges permettant aux concepteurs de s'écarter de certaines valeurs, accompagné d'instructions objectivement fondées indiquant dans quels cas les écarts sont tolérés.

L'autorisation de s'écarter d'une norme est étroitement liée à son statut (voir paragraphe 2.6.3).

2.8. Catégories de routes de sécurité durable

2.8.1. Historique

Un nouveau concept de sécurité de la circulation routière, appelé système de circulation *de sécurité durable*, est apparu en réaction aux mesures de sécurité routière des dernières décennies. Les ingénieurs en circulation amélioreraient la sécurité de la circulation routière principalement en considération de la contribution de chacune des composantes du système être humain - véhicule - route. L'adaptation du comportement humain, la construction de dispositifs de sécurité sur les véhicules, et une conception et une (re)construction bien pensées des routes et carrefours ont sans aucun doute exercé une influence positive sur le développement de la sécurité routière. Cependant, il n'est toujours pas question d'un niveau réellement fondamental de la sécurité. Chaque année, on enregistre des milliers d'accidents mortels en Europe, un sacrifice qui ne serait toléré dans aucun autre système social.

Comparé à la circulation ferroviaire et aérienne, les individus courent des risques 100 à 200 fois supérieurs dans la circulation routière, par kilomètre passager parcouru. Le trafic routier serait dans l'incapacité de répondre aux normes imposées par la société à l'environnement de travail, aux centrales nucléaires et à la prévention des désastres naturels: la participation au trafic comporte 1000 fois plus de risques par unité de temps.

Le trafic routier met en place des automobilistes non professionnels, non équipés de pilote automatique et confrontés à toutes sortes de situations inattendues. Il n'est pas possible de supprimer toutes les erreurs et fautes humaines par l'éducation, la formation, l'information, la réglementation, l'intervention de la police et les mesures de pénalisation.

En ce qui concerne la sécurité des véhicules, d'innombrables dispositifs de sécurité sont désormais installés sur les automobiles, mais ils protègent en premier lieu leurs passagers et ne diminuent aucunement la vulnérabilité de l'usager de la route non protégé, bien au contraire!

Dans le trafic routier, il existe un nombre incalculable de situations dans lesquelles les usagers de la route sont induits en erreur par la route telle qu'ils la perçoivent ou par d'autres usagers de la route arrivant de directions inattendues. Même sur les autoroutes bien conçues, des situations pouvant provoquer des accidents graves se présentent.

Dans la tentative de construire un réseau routier présentant une sécurité durable, on a préconisé une infrastructure routière qui intègre fondamentalement la sécurité et tient compte de l'interaction des deux autres composantes, l'être humain et le véhicule.

Le réseau routier a traditionnellement eu pour mission de répondre aux besoins de transport par route. Cette mission ou fonction a été imposée là où c'était possible au réseau routier existant, même après l'augmentation spectaculaire du nombre des véhicules à moteur. Il n'y a pas si longtemps que les premières routes destinées spécifiquement au trafic rapide ont été construites en Europe. Il a fallu que des milliers d'accidents mortels se produisent chaque année pour que la société prenne conscience de l'amplitude du sacrifice auquel elle consentait pour satisfaire le besoin de mobilité en véhicule à moteur.

Dans les années 70, lorsque le nombre d'accidents mortels a atteint des chiffres records dans de nombreux pays, on commença à s'intéresser aux mesures de sécurité routière. On se pencha d'abord sur la situation dans les zones résidentielles. La création de "cours urbains" ("woonerven" en néerlandais) fut une initiative importante qui trouva un prolongement logique dans la création des zones à vitesse limitée à 30 km/h qui sont maintenant largement introduites en Europe. Dans les pays où la bicyclette s'est avérée être une bonne alternative à la voiture, des actions ont été menées pour encourager l'utilisation de ce moyen de transport et parallèlement des aménagements réservés aux véhicules lents ont été pensés et aménagés. Cette évolution montre que l'on reconnaît la différenciation de la fonction routière. Une route ne doit pas seulement permettre le transport automobile rapide; elle doit également servir aux autres modes de transport et même à d'autres besoins que la simple mobilité. On sait maintenant parfaitement que toutes ces fonctions de la route ne peuvent pas être combinées dans une seule et même voie.

Aux deux extrémités de l'échelle des fonctions de la route - l'autoroute d'un côté et les routes à vitesse limitée à 30 km/h dans les zones résidentielles de l'autre - de bons résultats ont été obtenus en ce qui concerne la réduction des risques pour les usagers de la route. Cependant, de nombreuses routes restent dans la zone "grise", intermédiaire, dans laquelle les

risques sont beaucoup plus difficiles à combattre. Les manuels publiés au cours des vingt dernières années afin de s'attaquer aux "points noirs" ont maintenant atteint leur but dans différents pays européens: ils ont permis d'identifier les principales erreurs locales de conception qui rendaient certaines situations de trafic dangereuses.

Malgré ces remèdes, deux catégories de routes présentent un risque élevé d'accident pour tous les modes de transport, à savoir les routes non-auto-routières en dehors des agglomérations et les rues à fonction autre que résidentielle dans les zones urbanisées. C'est précisément pour ces catégories que la méthode de la sécurité durable devrait offrir une solution. Cette méthode vise à assurer une sécurité fondamentale du trafic routier grâce à des mesures préventives.

2.8.2. Philosophie

Les aménagements routiers et configurations des intersections doivent informer sans ambiguïté les usagers de la route sur les possibilités de déplacement et sur les choix quant aux itinéraires et aux manoeuvres. Les caractéristiques de la route tendent à se confondre avec les caractéristiques du trafic et induisent une certaine attente concernant le comportement au volant, basée sur l'expérience de combinaisons de caractéristiques de routes et de trafic. Par exemple, les automobilistes conduisant sur des routes à chaussées séparées, à voies larges et en ligne droite prévoiront généralement des vitesses élevées et ne tiendront pas compte des véhicules lents et du trafic sécant aux carrefours, sorties, voies de franchissement, etc. Cependant, si, sur une route de ce type, une caractéristique inattendue surgit dans le trafic (par exemple la présence d'un véhicule agricole) ou un changement soudain des caractéristiques de la route (par exemple un virage serré), cette nouvelle situation demandera un effort supplémentaire de la part de l'usager de la route, car il devra entreprendre une manoeuvre qu'il n'aura pas pu anticiper, mettant ainsi en péril la sécurité routière.

Dans de nombreux cas, les caractéristiques du trafic peuvent se déduire des caractéristiques de la route, si bien que la continuité des caractéristiques de la route peut mener à une meilleure anticipation du comportement dans la circulation. La manière dont les usagers de la route traduisent les caractéristiques de la route dans leur comportement sur la route fait l'objet de suppositions et d'attentes. Ce comportement supposé et souhaité dans le trafic constitue la base d'une conception sûre de l'infrastructure. Les concepteurs de réseaux routiers devront davantage tenir compte du comportement et des opinions des usagers de la route, en particulier pour les intersections.

Les recommandations formulées dans ce rapport visent à établir un système global de trafic routier permettant une utilisation efficace des routes et surtout procurant une sécurité durable. Ces principes font actuellement l'objet de débats, de même que, par conséquent, leur application dans des directives concrètes pour la structure, la classification et la conception du réseau routier.

2.8.3 Principes

Des études ont montrés que le danger sur les routes actuelles est principalement causé par l'inadéquation de grandes parties du réseau routier par rapport aux fonctions qu'elles sont supposées remplir.

Ainsi, de nombreuses routes qui avaient à l'origine une fonction résidentielle ont acquis une fonction à dominance de distribution de quartier ou même une fonction de flux, tout en continuant à remplir leur fonction première. Il semble tout à fait possible d'ajuster la conception d'une route et la réglementation qui s'y rapporte en attribuant à cette route une seule fonction spécifique basée sur les principes de sécurité formulés comme suit:

- éliminer l'utilisation non prévue de la route,
- éliminer l'apparition de risques implicites et
- éliminer les comportements fautifs.

En utilisant trois catégories de routes liées fonctionnellement, dotées de caractéristiques non-équivoques et de codes de comportement propres, on peut largement appliquer ces principes. Nous mentionnons une fois encore ces fonctions:

- la fonction de flux: le traitement rapide du trafic longue distance;
- la fonction de distribution: d'un côté le regroupement et la dispersion du trafic en provenance ou en direction de quartiers et de zones résidentielles, d'un autre côté les routes à fonction de flux;
- la fonction d'accès: l'accessibilité des propriétés privées.

Ces trois catégories de routes fonctionnelles ne sont pas hiérarchiques et ne diffèrent pas en importance. La classification que nous exposerons plus bas n'implique aucunement quelque idée de hiérarchisation. Cette classification s'applique tant aux voies urbaines qu'à celles situées à l'extérieur des agglomérations. La densité de l'habitat jouxtant la voie en détermine la conception.

Il en va naturellement de même du volume du trafic, en particulier en ce qui concerne les carrefours. Selon la densité des propriétés et les volumes du trafic, on peut distinguer plusieurs types de routes dans une seule catégorie de routes. La difficulté est de bien faire comprendre la fonction de la route aux usagers, malgré les différences de conception.

Sur la base des trois principes mentionnés ci-dessus, on peut formuler les critères fonctionnels d'un réseau routier de sécurité durable. Nous les analyserons brièvement et les soumettrons à des débats. Nous examinerons également les principes traditionnels, tels que l'uniformité de l'infrastructure, la continuité des flux de trafic et la cohérence dans la conception des routes.

Les critères à imposer à un réseau routier de sécurité durable peuvent être qualifiés de stricts dans certains cas. Il peut arriver que ces critères mènent à des conceptions irréalistes. Il vaut mieux ne pas encourager les conceptions qui n'ont aucune chance de succès. Il peut donc s'avérer nécessaire, à un stade donné du processus, d'abandonner certains critères.

2.8.4 Propositions de classification des routes

Le système est basé sur trois catégories, correspondant aux trois types du trafic. On obtient une classification en routes de flux, routes de distribution et routes d'accès. Suivant la capacité requise et les environs immédiats (milieu rural ou urbain, à l'intérieur ou à l'extérieur d'une agglomération), nous pouvons distinguer plusieurs modèles dans chaque catégorie, appelés types de routes. Une description en est donnée à l'Annexe I, paragraphe 5.2.

2.9 Références

Anderson, H.L. *Incompatibilities between highways, vehicles and drivers*. Proc., American Association for Automotive Medicine, October 7-9, 1980.

Hauer, E. *A case for science-based road safety design and management*. In: "Highway Safety: At the Crossroads", ASCE, pp.241-267, 1988.

Janssen, S.T.M.C (SWOV) (1994). *Road classification and categorization*. A-93-3. Annex I to SWOV-report Safety effects of road design standards

McLean, J. *Review of rural road geometric standards*. In: Proc. of the Workshop on Economics of Road Design Standards, Bureau of Transport Economics, Vol. 1, Canberra, Australia, 1980.

Slop, M. (SWOV) (1994). *Assumptions used in road design*. A-94-4. Annex II to SWOV-report Safety effects of road design standards.

SWOV. *Towards a sustainable safe traffic system in the Netherlands*. 1993.

3. Méthodes pour l'étude de la relation entre accidents, comportements des usagers de la route et normes de conception routière

3.1. Introduction

Les impacts sur la sécurité des normes de conception ne peuvent être mesurés que par l'observation de la variation du nombre d'accidents résultant de différences (ou modifications) de conception. De telles différences peuvent être le fait de modifications de la conception dans le temps ou de divergences de conception d'un endroit à l'autre. Il y a donc deux approches fondamentalement différentes de la mesure de l'impact des normes de conception routière sur la sécurité routière: l'approche chronologique et l'approche transversale. Ces techniques seront abordées dans les deux sections qui suivent. La dernière section de ce rapport suggère brièvement les techniques utilisables pour évaluer les aspects comportementaux des normes de conception. Ces sujets seront détaillés dans l'Annexe III.

3.2. Approche chronologique de l'évaluation de la sécurité

Le principe de base de l'approche chronologique est d'estimer l'impact sur le nombre d'accidents d'une modification de conception en comparant le nombre des accidents survenus au cours d'une période, par exemple de 3 à 5 ans avant la modification, au nombre d'accidents suivant cette modification. Si le nombre d'accidents au cours de la période antérieure est b et le nombre d'accidents au cours de la période postérieure a , pour des périodes d'égale longueur, l'amélioration peut être définie par le rapport a/b (rapport généralement noté α). Un rapport de 1 indique une situation inchangée et un rapport inférieur à 1 traduit une réduction du nombre d'accidents et donc un gain de sécurité.

Malheureusement, pour diverses raisons techniques, une approche aussi simple a peu de chances de s'avérer pertinente. Trois de ces raisons sont étudiées ici: (1) le caractère fondamentalement aléatoire des données relatives aux accidents, (2) la nécessité d'une correction statistique pour les modifications exogènes dans le temps et (3) une sélection biaisée.

En raison du caractère aléatoire des données relatives aux accidents, le nombre d'accidents survenant respectivement pendant la période antérieure b et la période postérieure a constitue une mesure non fiable de la fréquence effective à long terme des accidents. Diverses techniques statistiques permettent toutefois d'estimer si α est significativement différent de 1 (situation inchangée) ou si la valeur obtenue est purement aléatoire. Les méthodes disponibles pour procéder à cette évaluation sont décrites à l'Annexe III de ce rapport.

Le principal désavantage de l'approche chronologique de l'évaluation des modifications de la fréquence des accidents est que les périodes antérieure et postérieure sont inévitablement séparées dans le temps. Bien entendu, ceci ne serait pas gênant si les autres facteurs demeuraient constants entre les deux périodes. Malheureusement, dans la plupart des cas, on trouve une série de facteurs susceptibles de changer dans le temps.

La méthode la plus courante pour traiter de telles variations est le recours aux sites-témoins. Le principe est le suivant: pour chaque site "expérimental" où l'amélioration est introduite, on choisit un ou plusieurs sites "témoins" ne faisant l'objet d'aucune intervention. On fait l'hypothèse que toute variation dans le temps susceptible d'affecter le nombre d'accidents constatés sur les sites expérimentaux avant et après leur aménagement affectent de la même manière les sites-témoins. Il est alors possible d'utiliser les variations observées sur les sites-témoins pour corriger l'impact apparent de l'amélioration sur le(s) site(s) expérimentaux et obtenir ainsi une indication précise de l'impact réel de l'amélioration de conception.

Le recours aux sites-témoins dans les études chronologiques doit être assorti de deux importantes précautions. Tout d'abord, si l'on veut éviter que les sites-témoins n'introduisent une variabilité excessive dans les estimations de l'efficacité de la mesure étudiée, ils doivent être le cadre d'un nombre relativement élevé d'accidents. Deuxièmement, pour jouer efficacement leur rôle de témoins, les sites retenus doivent se comporter de la manière exacte dont l'auraient fait les sites expérimentaux si aucune mesure n'y avait été prise. En d'autres termes, les sites témoins doivent être aussi semblables que possible aux sites expérimentaux. Il s'avère souvent extrêmement difficile de choisir le meilleur site témoin autant que d'élaborer des méthodes objectives pour effectuer ce choix.

Enfin, les ingénieurs de la circulation choisissent les sites où ils interviennent en fonction de certains critères. A titre d'exemple, si le critère retenu est la fréquence élevée des accidents observés au cours d'une année donnée, la réduction de celle-ci au cours de l'année suivant leur intervention peut être totalement étrangère à cette dernière, mais une nouvelle fois purement aléatoire. Ce phénomène est connu sous le nom de 'biais de sélection' ou de 'retour à la moyenne'.

Lorsqu'il entreprend des études chronologiques, le chercheur doit donc être conscient des problèmes mentionnés ci-dessus et de l'ensemble des techniques - présentées en Annexe III à ce rapport - disponibles pour atténuer autant que possible leurs impacts.

3.3. Approche transversale de l'évaluation de la sécurité

Les études transversales permettent également de mesurer l'efficacité en termes de sécurité des normes de conception. Ces études déduisent la relation entre conception et sécurité de l'analyse de la variation des fréquences des accidents associée aux différences de conception d'un site à l'autre. Une fois établies les relations entre paramètres de calcul et accidents, elles peuvent être utilisées pour prévoir la contribution des caractéristiques spécifiques de conception à l'amélioration de la sécurité, ou encore pour prévoir l'impact de modifications de la conception sur le nombre attendu d'accidents.

Cette approche consiste à identifier un échantillon adéquat de sites du réseau routier public intégrant une série de paramètres de conception pertinents et pour lesquels on dispose de données sur les accidents. On mesure alors l'intensité de la circulation et les variables-clés de la géométrie de ces sites, et les données ainsi obtenues sont analysées en vue d'établir les relations accidents/circulation/configuration des sites.

L'objet de l'analyse est de déterminer les variables ayant un impact sur la fréquence des accidents (nombre d'accidents par année) et de quantifier l'ampleur de cet impact. En termes de normes de conception, cette analyse détermine les caractéristiques susceptibles de procurer un niveau de sécurité minimum prédéterminé. Les relations accidents/configuration permettent de prévoir combien d'accidents en plus (ou en moins) surviendraient par an si un paramètre de la configuration du site était modifié. Ce procédé revient en définitive à estimer la variation du taux d'accidents à partir de différents sites présentant des configurations diverses et donc pour lesquels le paramètre étudié prend une série de valeurs distinctes. L'étude porte sur une même période de temps, ce qui permet d'éviter les problèmes dus aux variations imputables au temps dans les observations des données relatives aux accidents portant sur les périodes respectivement antérieure et postérieure à l'intervention.

L'approche transversale est particulièrement utile pour déterminer l'impact de variables nombreuses agissant de concert; elle élimine le besoin de modifier physiquement la configuration des sites étudiés en vue de déterminer l'impact de chaque variable. Pour déterminer de manière fiable l'impact des paramètres de conception dans un contexte multivarié, il est essentiel de disposer de toutes les valeurs des variables importantes au sein d'un échantillon aussi large que possible de sites retenus. Le choix des sites visera également une représentation géographique significative. Les données sur l'intensité de la circulation doivent être recueillies au cours d'un jour ouvrable et les relevés doivent être extrapolés pour permettre une estimation des flux au cours de la période d'observation des accidents pour chaque type de véhicule et de manoeuvre. Il faut éviter de choisir les sites sur la base du nombre d'accidents dont ils ont été le cadre, car ceci induirait le 'biais de sélection' dans les modèles d'accidents. Après établissement de l'échantillon de sites sur lesquels l'étude va porter, il convient de choisir les paramètres des configurations des sites retenus pour l'analyse, de les définir et de les mesurer in-situ.

Une fois les données recueillies et dûment vérifiées, l'analyse peut commencer. Elle procède généralement par étapes. Tout d'abord, elle étudie les caractéristiques des accidents par simple construction d'une matrice. Ceci permet de comprendre la typologie des accidents et fournit des résultats complémentaires par rapport à l'analyse centrale. Ensuite, elle établit les relations accident/circulation/configuration des lieux au moyen de techniques de modélisation statistique. L'objectif de la modélisation est d'obtenir le meilleur équilibre entre le nombre de variables incluses dans le modèle et la capacité de celui-ci à représenter correctement l'information contenue dans les données. L'annexe III donne un exemple du type de modèles qui peuvent être construits et illustre comment ceux-ci pourraient être utilisés à des fins de conception.

3.4. Méthodologies des études de comportement

Même si, en matière de sécurité routière, les accidents constituent la mesure de base de l'efficacité de la conception, ils n'en sont pas moins un *résultat* du système conducteur-véhicule-route. L'analyse des accidents ne permet donc pas nécessairement de comprendre les mécanismes complexes des comportements qui surviennent sur un site routier. Ceci exige des

études portant sur divers aspects du comportement de conduite. A des fins pratiques, les techniques pertinentes sont décrites ci-dessous en trois grandes catégories: études sur le terrain, études en laboratoires et études par enquêtes.

La manière la plus directe de mesurer le comportement est d'observer ce que les conducteurs font effectivement sur les routes, généralement sans qu'ils sachent qu'ils sont observés. La plupart des études réalisées à des fins de régulation du trafic sont de ce type. Dans ce cadre, la mesure des relations vitesse/circulation/géométrie permet d'établir une liaison entre les vitesses de déplacement moyennes observées et les caractéristiques de l'itinéraire suivi.

Les études de capacité et de ralentissement aux embranchements ont recours à l'observation des comportements pour divers types d'embranchement en vue de prévoir l'écoulement du trafic pour chacun de ceux-ci. Ce type d'études par observation directe n'a pas pour objet essentiel la sécurité et traite donc la circulation comme un agrégat.

Pour obtenir des informations plus directes sur les conducteurs individuels, il faut observer ceux-ci dans un véhicule ou en laboratoire. Les méthodes d'observation en véhicule sont de deux types: dans un cas, les conducteurs sont observés alors qu'ils conduisent leur propre voiture, et dans l'autre cas, alors qu'ils conduisent des voitures dotées d'équipements spéciaux. Dans les deux cas, les conducteurs empruntent le réseau routier public. Ces méthodes permettent de recueillir d'abondantes données sur les comportements élémentaires de conduite: trajectoires, accélération, freinage, etc. Les données relatives aux réactions psychologiques - évaluation du risque, état d'éveil, tension, fatigue, pénibilité des tâches, acuité visuelle, etc - peuvent également être simultanément recueillies au moyen d'entretiens oraux à des moments définis au cours de la conduite expérimentale. Des données personnelles de base telles que l'âge, le sexe, l'expérience de conduite, l'historique des accidents, etc., sont bien entendu aisément disponibles.

Le désavantage de la technique est que le conducteur sait qu'il est observé et que, sauf pour le choix de l'itinéraire, l'expérimentateur n'a que relativement peu de contrôle sur les situations de circulation effectives susceptibles de survenir au cours de l'essai de conduite. A cet égard, les études en laboratoire offrent à l'expérimentateur davantage de maîtrise des conditions expérimentales.

Une étude de laboratoire implique la mesure de l'un ou l'autre aspect du comportement ou de la capacité de conduite dans une installation expérimentale. Les études de ce type peuvent inclure une série de techniques de mesure allant de tests non liés à la conduite portant sur divers aspects du comportement du conducteur jusqu'à l'exécution de tâches de conduite réalistes dans un simulateur de conduite. Au niveau le plus simple, les capacités mesurées par les études de laboratoire peuvent notamment inclure des caractéristiques de comportement telles que acuité visuelle statique et dynamique, délais de réaction, aptitude à anticiper la route, capacité à réaliser des tâches multiples, reconnaissance de formes, détection du mouvement en profondeur, etc. Ce type d'études ne mesure pas les propriétés spécifiquement liées aux normes de conception routière, mais les

capacités associées à la vulnérabilité aux accidents des conducteurs individuels.

La mesure des capacités 'd'ordre supérieur' exige un appareillage plus sophistiqué que les essais plus simples de vision et de temps de réaction. Le simulateur de conduite constitue l'un de ces appareillages complexes. La Suède (chez VTI), l'Allemagne (chez Daimler Benz) et les Pays-Bas utilisent d'ores et déjà de tels simulateurs. La France, le Japon et le Royaume-Uni en construisent actuellement des exemplaires de divers types de complexité. Néanmoins, il n'est pas facile de reproduire de manière réaliste dans un simulateur une situation de circulation complexe et l'utilisation expérimentale des simulateurs n'est pas précisément bon marché. Il n'en reste pas moins que les simulateurs de conduite sophistiqués ont incontestablement un rôle à jouer dans les études de conduite qui demandent un niveau élevé de maîtrise de la part de l'expérimentateur sur les paramètres de l'expérience.

Enfin, en ce qui concerne la méthodologie d'étude de l'impact des normes de conception routière, les enquêtes par questionnaires et entretiens ont une fonction essentielle. Les questionnaires par correspondance sont un moyen efficace d'obtenir des informations auprès de grands échantillons de conducteurs; ils permettent de recueillir à relativement peu de frais des comptes rendus directs d'accidents, qui permettent d'établir la vulnérabilité aux accidents des conducteurs individuels en fonction de leurs âge, expérience de conduite et sexe. Les questionnaires ouverts, en particulier, permettent d'éclairer certains aspects des caractéristiques psychologiques des conducteurs. Les moyens utilisés à cette fin vont des échelles de déviance sociale ou de conduite aux auto-évaluations de la propension à la vitesse, en passant par la précision de la prise de décisions et du style de conduite, les attitudes en matière de perception et d'acceptation du risque de conduite et les biais d'auto-persuasion.

La recherche de ce type d'informations, dans le contexte des normes de conception, a pour but de relier les paramètres de conception - vitesse de calcul, distance de vision, réserves de dépassement, visibilité, signalisation, éclairage, etc. - aux caractéristiques individuelles des conducteurs qui utilisent les routes concernées. La littérature est peu disert sur ce type de travail. Néanmoins, dans le cadre de cet état des lieux méthodologique, il semble important de mentionner ces recherches comportementales et psychologiques. En effet, les futurs concepteurs pourront souhaiter mieux comprendre, non seulement le conducteur 'moyen', mais également la distribution des caractéristiques de la population de conducteurs pour lesquels ils travaillent.

3.5. Référence

Maycock, G. & Summersgill, I. (TRL) (1994). *Methods for investigating the relationship between accidents, road user behaviour and road design standards*. A-94-5. Annex III to SWOV-rapport Safety effects of road design standards.

4. Normes routières nationales et internationales: vue d'ensemble des normes de conception géométriques existantes

4.1 Organisations internationales et normes routières

4.1.1. Introduction

Les normes routières et les réglementations routières sont généralement des questions d'intérêt national. Les conditions géographiques, historiques, psychologiques et autres différant d'un pays à l'autre, il est à peu près évident que les questions qui régissent la conception des routes et la circulation sont traitées à un niveau national.

Mais, de plus en plus, le trafic dépasse les frontières et, face à l'accroissement du trafic international, des réglementations et des normes internationales sont devenues indispensables. Un certain degré d'harmonisation s'impose pour offrir à l'utilisateur de la route une infrastructure présentant une image plus ou moins homogène d'un ensemble de types de routes et de règles du code de la route.

En même temps, il serait important que le niveau de sécurité soit pratiquement le même dans tous les pays européens. Ceci bénéficierait aux usagers de la route, surtout à ceux qui voyagent à l'étranger.

L'étude présente les organisations internationales en ordre décroissant de compétence, et analyse les accords internationaux issus de ces instances (voir Ruyters, 1994a).

4.1.2. Union Européenne

L'organisation la plus importante à cet égard est l'Union Européenne. Moins pour le travail effectué dans le passé que pour le potentiel que possède cette organisation. En effet, c'est la seule organisation internationale à pouvoir faire appliquer légalement les décisions prises. C'est donc une organisation très efficace en ce qui concerne l'harmonisation, et l'entérinement des travaux effectués par d'autres organismes internationaux.

Avec l'entrée en vigueur du traité de Maastricht sur l'Union Européenne, le 1er novembre 1993, l'Union s'est vue attribuer de nouveaux champs de compétence. On inséra une nouvelle clause sur la sécurité routière à l'article 75, et on ajouta un chapitre entier sur les réseaux transeuropéens (article 129).

L'article 75.1 dit: "En vue de réaliser la mise en oeuvre de l'article 74 [article général sur les transports déléguant des compétences à l'Union Européenne, réd], et compte tenu des aspects spéciaux des transports, le conseil, statuant conformément à la procédure visée à l'article 189 C et après consultation du Comité économique et social, établit :

- (a) Des règles communes applicables aux transports internationaux exécutés au départ ou à destination du territoire d'un Etat membre, ou traversant le territoire d'un ou plusieurs Etats membres.
- (b) Les conditions d'admission de transporteurs non résidents aux transports nationaux dans un Etat membre.

- (c) *Les mesures permettant d'améliorer la sécurité des transports.*
- (d) Toutes autres dispositions utiles.

Les articles 129 B, 129 C et 129 D constituent le nouveau Titre XII du Traité de Rome sur les réseaux transeuropéens, inséré par le traité de Maastricht sur l'Union Européenne. L'article 129 B définit les objectifs des réseaux transeuropéens; l'article 129 C, les actions, et l'article 129 D, les procédures. Parmi les actions à entreprendre, l'article 129 C prévoit : "[Afin de réaliser les objectifs visés à l'article 129 B, la Communauté] met en oeuvre toute action qui peut s'avérer nécessaire pour assurer l'interopérabilité des réseaux, en particulier dans le domaine de l'harmonisation des normes techniques;".

Il est clair que l'Union Européenne a reçu des compétences dans le domaine de la sécurité et de l'infrastructure routières. D'autres actions seront entreprises, mais, dans une première phase, étant donné le principe de subsidiarité, on procédera à l'échange d'informations et à l'étude des principaux points d'intérêt. A plus long terme, l'Union Européenne sera le principal acteur dans ce domaine, puisque le pouvoir sera délégué des Etats membres à l'Union, et que l'Union peut adopter et mettre en application par des moyens légaux des textes juridiques légalement contraignants.

Le principe de subsidiarité est un code de conduite. Selon ce principe, seules les actions qui peuvent être entreprises plus efficacement dans un cadre communautaire seront réalisées par l'Union Européenne (Art.3,b du Traité de Rome, amendé par le traité de Maastricht). Pour toutes les autres actions, le niveau de réalisation le plus approprié sera le niveau national ou régional.

Dans le domaine de la sécurité et de l'infrastructure routières, la situation semble plus complexe. Etant donné que l'Union Européenne sera un investisseur de premier ordre pour l'infrastructure, il est logique que les décisions soient coordonnées avec les Etats membres à ce niveau. Toutefois, les projets s'effectuent à un niveau national et même régional. Le planning des investissements d'infrastructure est une question d'intérêt à la fois européen et national. On peut envisager que l'Union Européenne fixe des critères auxquels la nouvelle infrastructure doit répondre.

La Commission de l'Union Européenne étudie actuellement la politique de sécurité et d'infrastructure routières. Une étude comme celle-ci, ayant trait à la sécurité routière, est étroitement liée à l'infrastructure.

Dans le domaine de l'infrastructure, l'Union Européenne est en train d'établir un réseau, appelé le Réseau routier transeuropéen (TERN). Ce réseau a été adopté par le Conseil de l'UE, mais devra être adopté encore une fois, conformément à la nouvelle procédure de coopération. Cette nouvelle procédure, introduite par le traité de Maastricht, accorde davantage de compétences au Parlement européen.

Entretemps, des groupes de travail doivent fournir les informations nécessaires pour la réalisation de ce réseau. Un de ces groupes, appelé START (Standardisation de la typologie des routes) élabore des normes routières

pour ce réseau. Les informations rassemblées par l'étude seront mises à la disposition de ce groupe de travail, par le biais de la Commission.

4.1.3 *Nation Unies - Commission Economique pour l'Europe*

La Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies est une organisation internationale de première importance dans le domaine de l'infrastructure et, dans une moindre mesure, de la sécurité routière. Cette importance provient d'une longue expérience dans ce domaine particulier. Les traités de cette commission sont les seuls traités internationaux existants. Ils ne peuvent pas être appliqués, mais ils servent de base aux débats internationaux. Ce sont des documents sur lesquels on peut appuyer une action constructive.

L'accord le plus important sur ce sujet est l'Accord Européen sur les Grandes Routes de Trafic International (AGR). Il établit le réseau des routes E. L'AGR comprend des annexes donnant notamment des normes routières.

Récemment, des normes tout à fait similaires, mais beaucoup plus détaillées, ont été fixées pour le réseau TEM, c'est-à-dire l'axe transeuropéen Nord-Sud, un réseau traversant les pays d'Europe centrale et de l'Est. Ces normes sont inspirées par la Commission Economique pour l'Europe, mais ne sont pas intégrées à un accord de l'ONU et ont donc un statut différent de celui de l'AGR.

Il existe d'autres accords internationaux portant sur des sujets spécifiques, notamment plusieurs accords internationaux sur la signalisation routière de la Commission Economique pour l'Europe de l'ONU, et du Conseil Européen des Ministres des Transports (CEMT). Les plus importants sont les Conventions des Nations Unies sur la signalisation routière de 1949 et 1968. L'ONU élaborera également un Accord européen en 1971 et un Protocole sur les marquages routiers en 1973 complétant l'accord de 1968.

Il ne faut pas confondre ces Conventions sur la signalisation routière de 1949 et 1968 avec d'autres accords importants de l'ONU datant des mêmes années, à savoir les Conventions sur le trafic routier, également complétées par un Accord européen de 1971.

Les conventions et accords intégrés dans le Projet de réglementations routières européennes ont été régulièrement mis à jour et amendés. Ce sont donc des documents très actuels et utiles. L'annexe II du traité AGR, traitant des conditions que doivent remplir les axes de circulation internationaux, et qui est liée à l'étude, a été mise à jour en 1988. Cependant, la nouvelle version semble être moins précise et ne constitue donc pas un point de départ minutieux et détaillé pour poursuivre l'harmonisation. Il s'est révélé que l'harmonisation dans le domaine de l'infrastructure est très difficile.

La principale conclusion à tirer est que l'AGR, unique accord international dans ce domaine, manque de précision. Il contient très peu de normes, et les recommandations sont formulées de manière imprécise. En outre, l'AGR utilise une classification qui complique la situation au lecteur de l'accord et à l'utilisateur du réseau de routes E qui comporte aussi bien des

routes sinueuses à une seule chaussée à deux voies que de grandes autoroutes, toutes dotées de la même signalisation E.

4.1.4. *Conseil Européen des Ministres des Transports*

Le Conseil Européen des Ministres des Transports (CEMT) est un autre forum de la coopération internationale dans ce domaine. Sa position est comparable à celle de la CEE de l'ONU et il travaille sur les mêmes dossiers, en étroite collaboration avec la CEE de l'ONU, l'Union Européenne et l'OCDE. Le Conseil des ministres peut adopter des résolutions dont la valeur est similaire à celle des traités de la CEE de l'ONU, puisqu'elles sont presque toujours incorporées à la législation nationale.

En 1975, le CEMT a consolidé les traités de la CEE de l'ONU dans le "Code de la route européen".

4.1.5. *Comité Européen de Normalisation*

Etant donné ses moyens juridiques et son pouvoir financier, l'UE jouera le rôle principal dans le domaine de la sécurité et de l'infrastructure routières. Du fait du principe de subsidiarité, l'UE coordonnera ses actions avec les autres organisations internationales et les Etats membres de l'UE. L'UE n'entreprendra des actions que dans les cas appropriés et conformément au principe mentionné ci-dessus. Les relations entre l'UE et les autres organisations internationales, telles que la CEE de l'ONU et le CEMT, devraient être basées sur la coopération. Cependant, si l'UE veut s'élargir, la spécificité de la CEE de l'ONU et du CEMT (qui compte beaucoup plus d'Etats membres) diminuera. Une répartition plus claire des tâches serait souhaitable.

Il convient de mentionner le travail effectué par un autre organisme: le Comité Européen de Normalisation (CEN), composé de comités techniques qui ont chacun un objet spécifique traité au niveau de l'harmonisation technique. Un de ces comités présente de l'intérêt pour la présente étude: il s'agit du CT 226 qui s'occupe des normes européennes pour les équipements routiers. Ce CT est composé de plusieurs groupes de travail (GT) qui traitent de sujets spécifiques, par exemple les dispositifs de retenue, la signalisation horizontale et verticale, les barrières anti-bruit, etc. Bien que le CEN soit chargé de normalisation, il ne fixe pas de normes routières. Le CEN ne définit pas de politique, mais établit des critères fonctionnels.

4.1.6. *Autres organisations*

Les autres organismes internationaux étudiés, OCDE, FEHRL, IRF, IRU, AIPCR et PRI, sont importants pour le travail qu'ils accomplissent: organisation de congrès, financement d'études qui entraînent des échanges constructifs d'informations. L'OCDE et l'AIPCR sont particulièrement actifs dans le domaine de la recherche. Leur champ d'action est clairement défini (OCDE: les transports; AIPCR: les transports routiers) et leurs recherches reposent sur une organisation très efficace. Le FERSI joue un rôle primordial dans la recherche sur la sécurité routière. Bien qu'aucune recherche à son compte ne soit connue pour l'instant, le FEHRL pourrait jouer un rôle de premier rang dans le domaine de l'ingénierie routière. Le

PRI est un organisme indépendant chargé de promouvoir la cause de la sécurité routière et d'organiser des campagnes et la diffusion de l'information. L'IRF et l'IRU sont des organismes qui défendent les intérêts des usagers de la route et des constructeurs de routes. A ce titre, ils peuvent fournir des informations utiles sur les derniers développements en matière de construction et d'utilisation des routes.

4.1.7. Conclusion

Le tableau ci-dessous récapitule les différents accords internationaux et les autres formes de coopération (en ordre chronologique) :

Titre	Année	Organisme	Membres
Conventions sur le trafic routier	1949 et 1968	CEE-ONU	membres CEE-ONU
Accord européen	1971	CEE-ONU	membres CEE-ONU
Conventions sur la signalisation routière	1949 et 1968	CEE-ONU	membres CEE-ONU
Accord européen	1971	CEE-ONU	membres CEE-ONU
Protocole sur les marquages routiers	1973	CEE-ONU	membres CEE-ONU
Code de la route européen	1975	CEMT	membres CEMT
Réglementations routières européennes	1990	CEE-ONU	membres CEE-ONU
Accord européen sur les grandes routes de trafic international (AGR)	1975 (annexes amendées en 1988)	CEE-ONU	membres CEE-ONU
TEM-Normes et modalités recommandées	1992	CEE-ONU	membres CEE-ONU
TERN	1993 (et 1995)	UE	membres EU

4.2. Normes routières nationales

Ce document passe en revue et récapitule les normes techniques de conception des routes. Les normes de signalisation et de réglementations opérationnelles ne sont pas toujours mentionnées. Des normes routières nationales existent dans les douze pays de l'Union Européenne. Leurs modalités, leur date de publication, leur utilisation, leur statut légal, leur mise à jour différent d'un pays à l'autre.

Ce chapitre se propose d'attribuer le nom juste aux normes routières en vigueur aujourd'hui dans les Etats membres de l'UE. Le chapitre donne également une brève description du statut des normes, ainsi que quelques commentaires sur les travaux en cours sur les normes (voir Ruyters, 1994b).

Un tableau regroupe les normes routières des Etats membres de l'UE, sans mentionner le nom des normes elles-mêmes; le tableau distingue deux catégories: normes en milieu rural et normes en milieu urbain. Chaque catégorie est subdivisée en obligatoire et facultatif.

Ce tableau se rapporte uniquement aux normes routières techniques. Etant donné le nombre de normes en vigueur, il est probablement incomplet, mais le tableau se lit parallèlement aux commentaires qui suivent.

	Rural		Urban	
	Obligatoire	Facultatif	Obligatoire	Facultatif
Allemagne	X			X
Belgique	X			
Danemark	X	X		X
Espagne	X	X		
France	X			
Grèce				
Irlande		X		
Italie	X		X	
Luxembourg				
Pays-Bas	X	X		X
Portugal	X	X		
Royaume-Uni	X	X		X

Ce tableau exige quelques explications. En Grèce et au Luxembourg, il n'existe aucune norme spécifique; ces deux pays appliquent des normes d'autres pays. La Grèce développe actuellement ses propres normes.

Les dix autres pays ont tous des normes pour les routes en milieu rural. Cinq pays seulement ont des normes pour les routes en milieu urbain, qui sont facultatives dans quatre d'entre eux (Danemark, Allemagne, Pays-Bas et Royaume-Uni), mais obligatoires en Italie. Il semble qu'il s'agisse ici d'une question de compétence: l'Etat national est généralement responsable du réseau national qui est de longueur réduite, mais de qualité élevée. Il est relativement facile d'établir des directives obligatoires pour un réseau de ce type, qui se compose souvent d'autoroutes et de routes express. Le reste du réseau est sous la responsabilité d'administrations régionales ou locales. Chaque pays comptant de nombreuses administrations différentes, la conception des routes varie beaucoup d'un cas à l'autre, d'autant plus que l'environnement est très différent. Les normes de conception de routes en milieu urbain sont donc généralement des directives ou des recommandations. La situation italienne en matière de normes de conception des routes en milieu urbain n'est pas claire. Dans les dix pays, les normes de conception des routes pour le réseau rural s'appliquent aux

zones urbaines dans la mesure où les routes urbaines font partie du réseau national d'Etat.

La situation concernant les normes de conception des routes pour les zones rurales est encore plus complexe. Tous les pays, y compris la Grèce et le Luxembourg, connaissent une démarche commune: l'application de normes par le truchement de l'approbation d'un projet. En cas d'écarts par rapport aux normes, l'approbation du projet garantit un certain contrôle. En fonction de l'administration en charge de la route, cette approbation est ministérielle, régionale ou locale.

Les normes sont facultatives au Danemark et en Irlande. C'est également le cas pour les routes non autoroutières aux Pays-Bas, pour lesquelles existent des normes, et pour les routes en milieu rural du réseau local au Portugal. Il faut sur ce point noter une différence dans ce pays: on utilise les mêmes normes que pour le réseau national, mais non à titre obligatoire, plutôt à titre de directives. Dans les quatre pays mentionnés, les écarts par rapport aux normes doivent être bien argumentés.

La Belgique a des normes obligatoires tant pour le réseau national que pour les réseaux régionaux (flamand et wallon). En France et en Espagne, des normes obligatoires s'appliquent au réseau national. D'une manière générale, ces normes sont également appliquées par les autorités régionales (départements en France, pays en Espagne). En Espagne, les normes doivent être agréées par le ministre au terme d'une longue procédure légale. Certaines normes demeurent des directives (facultatives).

Deux situations particulières se présentent au Portugal et au Royaume-Uni. Au Portugal, les normes destinées au réseau routier national qui sont appliquées au réseau local ont un système spécial d'écarts. Si on ne peut obtenir des valeurs maximales ou minimales "normales", ou bien si on ne peut les obtenir que moyennant des coûts de construction très élevés, on applique des valeurs maximales ou minimales "absolues". Le Royaume-Uni connaît le même système. Ce pays utilise un système à trois degrés: les normes minimales souhaitables, et deux niveaux d'écarts ("*relaxations*" et "*departures*"). Pour les écarts de type *relaxation* par rapport aux normes minimales souhaitables, l'approbation ministérielle n'est pas nécessaire, mais les conditions à respecter sont formulées dans les normes. Les écarts de type *departures* doivent être approuvés par le ministre.

Le débat sur le statut des normes est essentiel. Un concepteur de route s'appuie sur une norme approuvée, obligatoire. Si l'information contenue dans la norme est insuffisante pour permettre de juger les conséquences des écarts, il sera difficile de prévoir une conception dans laquelle l'élément sécurité routière sera bien pesé.

L'Europe connaît plusieurs approches de ce problème:

- approbation du projet, mais une application uniforme ne peut pas être garantie ainsi;
- statut de la norme: normes obligatoires, directives, recommandations, mais, généralement, le concepteur est confronté à un manque d'informations l'empêchant d'aboutir à une conception équilibrée;
- démarche à deux degrés (Portugal) ou à trois degrés (Royaume-Uni), qui permet au concepteur d'avoir une meilleure connaissance de la norme.

Il convient de recommander de rechercher les modalités optimales concernant les méthodes en vigueur. La sécurité en serait certainement améliorée.

4.3. Références

Ruyters, H.G.J.C.M. (SWOV) (1994a). *International organizations and road design standards*. A-94-6. Annex IV to SWOV-report Safety effects of road design standards.

Ruyters, H.G.J.C.M. (SWOV) (1994b). *National road design standards. An overview of geometric road design standards of the Member States of the European Union*. A-94-7. Annex V to SWOV-report Safety effects of road design standards.

5. Etudes détaillées

5.1 Profil des chaussées

5.1.1 Introduction

Pour déterminer les raisons et critères principaux servant à dimensionner le profil de la voirie, on a pris en compte trois sources d'information:

- les connaissances sur les relations entre la configuration de la route et les aspects opérationnels, économiques et de sécurité,
- les conclusions d'une étude comparative des dimensionnements fournis par différentes normes,
- les faits et hypothèses présentés dans les directives nationales.

Pour évaluer les dimensions des profils routiers, on a comparé les normes nationales et internationales:

- les normes utilisées aux Pays-Bas (NL), en France (F), en Belgique (B), en Grande-Bretagne (GB), en Allemagne (G), en Italie (I), en Irlande (IR), au Danemark (DK), au Portugal (P) et en Espagne (SP),
- l'axe transeuropéen Nord-Sud (TEM), normes et modalités recommandées,
- le texte révisé des Annexes II et III de l'Accord européen sur les grandes routes de trafic international (AGR),
- la Typologie des routes dans le réseau transeuropéen, liaisons non-autoroutières, START.

Les normes utilisées en Grèce et au Luxembourg ne sont pas disponibles. Les comparaisons effectuées par l'école supérieure technique de Darmstadt et l'université de Cork ont servi de point de départ pour l'évaluation des normes routières.

On a comparé les dimensions des profils, les critères de base et les effets sur la sécurité de la largeur des voies et des accotements pour les types de route suivants:

- autoroutes en milieu rural,
- routes non autoroutières à chaussées séparées en milieu rural (y compris les routes express à chaussées séparées),
- routes à une seule chaussée (y compris les routes express à une seule chaussée et les routes ordinaires prévues pour une vitesse supérieure à 60 km/h).

5.1.2. *Eléments influençant les normes de largeur*

Facteurs influençant la largeur des profils en travers

Les facteurs déterminant les profils routiers sont les suivants:

- facteurs se rapportant au réseau routier: fonction de la route, vitesse limite prévue, longueur moyenne de la distance parcourue par les véhicules,
- facteurs se rapportant à la circulation: volume du trafic, types de véhicules utilisant la route, largeur de la voiture personnelle type et des véhicules lourds, nombre de piétons, volume du trafic cycliste,
- facteurs se rapportant à la route: tracé, drainage, nombre et fonction des voies de circulation et des accotements, modalités de construction et d'entretien,
- facteurs humains: comportement des conducteurs concernant la vitesse et

le positionnement transversal, adaptations du comportement, respect des mesures de sécurité,

- facteurs relatifs à l'environnement: topographie, conditions d'accès, esthétique, zones protégées,
- considérations relatives à la sécurité: taux d'accidents, gravité des accidents, coûts,
- conditions opérationnelles: niveau exigé de service, capacité, délais,
- analyse des coûts et bénéfices: construction, maintenance, coût des accidents, coût opérationnel

Effets opérationnels

Les effets opérationnels de la largeur des voies et des accotements peuvent s'observer dans l'utilisation des voies par différents types de véhicules, l'utilisation des accotements par des véhicules en marche ou à l'arrêt, le positionnement transversal, la vitesse pratiquée, la liberté de manœuvre et les coûts opérationnels. Des études américaines suggèrent que des accotements revêtus sur les routes en milieu rural à chaussée unique améliorent la séparation latérale des véhicules entrant sur la route. La séparation dépend de la largeur et du type des accotements. Une analyse allemande de la distance transversale révèle que le comportement des conducteurs dépend en premier lieu de la présence d'une bande d'arrêt d'urgence, de la largeur des voies de circulation, des vitesses et du volume du trafic sur les différentes voies.

Différentes recherches montrent que des largeurs étroites de chaussée ont une influence sur la vitesse des véhicules sur les routes en milieu rural à faible trafic. Les avantages opérationnels inhérents à un accotement revêtu sur toute la largeur augmentent avec le volume du trafic. Ils sont significatifs à des volumes supérieurs à 200 véhicules de l'heure: il apparaît alors que les accotements revêtus augmentent la vitesse moyenne sur la route d'au moins 10% et limitent le nombre des véhicules roulant groupés à moins de 20%.

Une étude allemande a révélé que, jusqu'à un volume de trafic de 1200 véhicules de l'heure dans une seule direction, la vitesse moyenne des camions sur des sections de route dépourvues de bande d'arrêt d'urgence baisse de 7 km/h quand la largeur de la voie est inférieure à 3,5 m. Selon le HCM-85, une réduction de largeur de voie de 3,6 m à 2,7 m entraîne une diminution de la capacité de 19%, tandis qu'une réduction de 3,5 m à 3,25 m n'entraîne qu'une diminution très faible de la capacité.

La sécurité

Les accidents sur les routes en milieu rural, tous types confondus, est une résultante complexe de nombreux facteurs. Les conclusions d'études sur l'influence de la largeur de voie, de la largeur de l'accotement et du type d'accotement sur les accidents, en particulier sur les routes en milieu rural à deux voies, ont souvent été non seulement incohérentes, mais, dans de nombreux cas, contradictoires. Néanmoins, des constatations montrent que les taux d'accidents les plus élevés se rapportent aux sorties de route et aux collisions frontales sur voies étroites, et que ces taux sont inversement proportionnels à la largeur de la voie. Ainsi, les taux globaux d'accidents diminuent quand la largeur augmente. Mais il faut considérer avec prudence les résultats des études comparatives sur les profils des routes parce qu'il est difficile de connaître toutes les covariables.

De même qu'avec la largeur de voie, le taux de sorties de route et de collisions frontales diminue avec une largeur d'accotement de 2,7 m. Le

taux d'accidents augmente faiblement avec des accotements de 3,0 m à 3,7 m de large. En règle générale, les études avant-après montrent une forte réduction du taux global d'accidents quand on aménage ou élargit les accotements revêtus ou stabilisés sur les routes à deux voies.

En analysant la combinaison des largeurs des voies et des accotement, on constate que l'élargissement des voies entraîne une plus grande réduction du nombre d'accidents que l'élargissement des accotements. Cependant, les taux non corrigés d'accidents sont approximativement les mêmes (ou légèrement supérieurs) pour des voies de 3,6 m que pour des voies de 3,3 m, indiquant probablement en partie la limite au-delà de laquelle l'élargissement des voies devient inefficace.

Le bilan des rapports d'accidents sur sections de route en Allemagne montre que la fréquence des accidents dus à des "erreurs pendant des manœuvres de dépassement et de changement de voie" était supérieure à la moyenne sur les sections de route à voies de circulation étroites (3,25 m). Une étude comparative des taux d'accidents et des taux de coûts d'accidents pour les routes en milieu rural allemandes montre qu'un accotement revêtu sur les routes non autoroutières à chaussées séparées n'entraîne pas d'amélioration nette des taux d'accidents, mais que l'absence d'un terre-plein central fait doubler les taux de coûts d'accidents.

Les résultats de recherches sur la sécurité effectuées en Suisse montrent que l'élargissement d'une chaussée unique de 8,5 m à 10,0 m réduit le taux d'accidents ainsi que le taux de victimes, mais que ces deux taux augmentent à nouveau avec des largeurs comprises entre 12 et 14 m. Ces constatations, ainsi que d'autres, mettent en question la validité de l'affirmation selon laquelle "plus la route est large, plus elle est sûre".

Corrélation des coûts

Pour analyser l'ensemble des conséquences économiques du choix du profil de la route et de son dimensionnement optimal, il faut introduire certains facteurs de coût dans les calculs. D'un point de vue pratique, les paramètres à introduire se divisent en trois groupes:

- paramètres indépendants de la route: longueur de la période de référence, année d'ouverture, évolution de la circulation, pourcentage de véhicules lourds,
- paramètres dépendants de la route: capacité, rapport volume/vitesse, taux d'accidents, coûts de construction, coûts d'entretien,
- niveau de prix: prix par accident, prix de l'heure pour les voitures et les véhicules lourds, coûts de la conduite, taux d'escompte.

Les résultats de calculs coûts/bénéfices pour routes à deux voies aux Etats-Unis montrent que:

- le coût relativement élevé d'une largeur maximum de chaussée et d'accotements larges face aux avantages attendus sur le plan de la sécurité pour un volume faible de trafic est évident,
- il existe des largeurs optimum pour des volumes de trafic donnés.

5.1.3. Critères de base pour le dimensionnement des profils en travers dans les normes nationales

Peu de normes considérées donnent des explications sur la largeur fixée des éléments des profils en travers. Les normes présentent parfois des approches différentes du choix du tracé de la route et du dimensionnement de son profil, des définitions et de l'importance de la limite de vitesse, des possibilités d'écarts par rapport aux normes, ainsi que du rôle des utilisa-

teurs des directives dans le processus de conception. Les normes contiennent donc:

- les dimensions du profil de certains types de routes; il faut généralement éviter de modifier les normes, ou
- le dimensionnement du profil, ainsi que la justification de ce dimensionnement, ou
- le dimensionnement du profil et les modalités de choix du profil optimal ou les modalités de détermination des écarts par rapport aux normes.

Véhicules de référence et espace dynamique

La largeur minimum d'une voie de circulation et d'un accotement revêtu dépend tout d'abord de la largeur des véhicules de référence et des marges latérales déterminées par le positionnement transversal et l'espace dynamique des véhicules en marche. La largeur des véhicules lourds prévus sur les routes en milieu rural est limitée, généralement à 2,5 m, aux Pays-Bas, à 2,6 m.

Dans les normes allemandes, la largeur minimum de la voie résulte de l'addition de la largeur des véhicules lourds, soit 2,5 m, de la marge latérale de 0 à 1,25 m et d'une surlargeur de 0,25 m lorsqu'il y a une voie de circulation en sens inverse. La largeur des voies est donc de 2,75 m à 3,75 m. Les marges latérales dépendent des limites de vitesse. Dans les normes néerlandaises, la marge entre les usagers dépend de la vitesse limite. On obtient des largeurs allant de 3,35 m à 3,50 m pour les autoroutes et de 2,75 m à 3,25 m pour les routes à une seule chaussée.

Largeur de voie

Pour les autoroutes, sept pays européens (F, IR, G, I, B, UK, SP, P) utilisent une seule largeur de voie de circulation, quelle que soit la vitesse limite. La largeur des voies varie de 3,25 m à 3,75 m. Seules, les normes néerlandaises prévoient une largeur de voie de 3,25 m, c'est-à-dire 0,25 m de moins que la largeur minimum admise par l'AGR. Toutefois, les Néerlandais utilisent rarement une largeur de 3,25 m et seulement avec une vitesse limitée à 90 km/h.

En règle générale, on ne remarque pas de corrélation entre la vitesse limite et la largeur de la voie.

Dans les normes néerlandaises et du TEM, la largeur de voie dépend principalement de la limitation de vitesse; dans les normes danoises, elle dépend aussi de facteurs économiques (profils large et étroit).

Les directives danoises présentent les modalités de calculs économiques; les directives britanniques proposent un programme COBA d'optimisation. Toutes les normes prévoient une seule largeur de profil routier, à l'exception des normes irlandaises et allemandes qui en proposent deux, suivant la vitesse maximale autorisée et la fonction de la route dans le réseau.

Pour les routes non autoroutières à chaussées séparées, la largeur de voie varie entre 3,25 m et 3,75 m. Les voies de 3,75 m de large correspondent à une vitesse maximale autorisée de 100 à 120 km/h.

La largeur des voies de circulation des routes à chaussée unique s'étend de 2,5 m (DK) à 3,75 m. Dans cinq normes (IR, I, G, DK, NL), la réduction de la largeur de voie est liée à une diminution de la vitesse limite.

Dans les normes britanniques, la largeur de voie dépend du flux prévu.

Largeur de l'accotement extérieur revêtu

La largeur de l'accotement extérieur revêtu (bande d'arrêt d'urgence sur les autoroutes) varie considérablement: de 2,0 m à 3,75 m (y compris la bande latérale). Deux normes seulement (F, DK) prévoient des largeurs inférieures aux 2,5 m admis par l'AGR. En moyenne, les largeurs pour des vitesses de 100 à 120 km/h sont légèrement supérieures aux largeurs pour des vitesses de 80 km/h.

Dans les normes françaises, la largeur de l'accotement revêtu des autoroutes dépend du volume de circulation de référence ou de considérations économiques particulières; dans les normes irlandaises, elle dépend des vitesses maximales autorisées, dans les normes néerlandaises, du nombre de voies, et, dans les normes danoises, de critères économiques.

L'absence d'entente est totale en ce qui concerne la largeur de l'accotement latéral revêtu des routes non autoroutières. Ces types de routes sont utilisés avec ou sans accotement large revêtu, si bien que la largeur totale de la chaussée varie entre 7,5 m et 11,5 m. Dans les normes irlandaises, la largeur des accotements revêtus pour les routes non autoroutières dépend de la catégorie de la route.

Seules, quelques normes expliquent la fonction des accotements revêtus. Aucune explication n'est donnée sur les dimensionnements des accotements des routes non autoroutières à chaussées séparées. Pour les routes à une seule chaussée, le dimensionnement des accotements revêtus par rapport à la largeur de la berme montre de grandes différences. Les normes irlandaises admettent des accotements revêtus larges et une séparation centrale large, les normes néerlandaises et danoises, des accotements revêtus étroits et des séparations larges, les normes espagnoles, des accotements revêtus larges et des séparations étroites. On peut remarquer l'influence des fonctions de l'accotement. Dans les normes irlandaises, danoises et néerlandaises, la largeur des accotements dépend de la vitesse de conception. Les accotements larges prévus par les normes néerlandaises trouvent leur justification dans une recherche américaine sur les accidents, qui confirme que 80 à 90% des accidents de type sortie de route se produisent à moins de 10 m d'une chaussée.

Largeur de la chaussée

La largeur de la chaussée est fonction de tous les facteurs mentionnés ci-dessus, principalement de la largeur des véhicules de référence, de la marge entre les véhicules en marche ou à l'arrêt, de la vitesse maxi, du type et des fonctions des accotements revêtus. La choix de la largeur type de chaussée dans les normes dépend de considérations économiques, opérationnelles et de sécurité. Compte tenu des besoins de l'entretien, les normes néerlandaises pour les autoroutes recommandent une largeur de chaussée de 12,0 m, tandis que les normes allemandes conseillent une largeur de 11,5 m. Cette largeur peut être utilisée temporairement comme chaussée à quatre voies, par exemple pendant des travaux sur la chaussée parallèle.

Pour les routes à chaussée unique, des largeurs de chaussée de 6,0 à 12,0 m sont utilisées dans les normes de conception.

Certaines normes insistent sur le fait que le concepteur devra choisir le type de routes en fonction de critères dictés par les analyses économiques. Il arrive que l'insuffisance des moyens économiques, l'importance des travaux de terrassement obligent à réduire la largeur du profil de la route. Les directives françaises contiennent des modalités de réductions successives. Les normes danoises proposent d'utiliser le type étroit de profil

routier destiné aux routes à chaussées séparées. Les normes britanniques prévoient aussi des profils routiers spéciaux à largeur restreinte.

5.1.4. Conclusions et recommandations

1. La comparaison des largeurs du profil en travers des autoroutes montre une assez grande concordance des normes. La majorité des pays de l'UE utilise une largeur de voie de 3,75 m. La largeur de 3,25 est rarement utilisée, et seulement pour une vitesse maximale de 90 km/h. Pour les accotements revêtus, seuls deux pays utilisent une largeur inférieure aux 2,5 m recommandés par START. La largeur de chaussée varie entre 8,0 m et 12,0 m pour un trafic unidirectionnel.

Du point de vue de la sécurité, on peut dire que :

- l'élargissement au-delà de 3,5 m pour les voies de circulation et au-delà de 2,5 m pour les bandes d'arrêt d'urgence, comme admis par l'AGR, a une légère influence néfaste sur les taux d'accidents, si bien qu'une largeur de 3,5 m peut être recommandée,
- la largeur totale de la chaussée (11,5 m à 12,0 m) pour les autoroutes à 2x2 voies peut résulter du besoin d'utiliser temporairement une seule chaussée comme section de route bidirectionnelle à quatre voies pour des raisons de maintenance; toutefois il faudrait en étudier les conséquences sur le plan de la sécurité.

2. Les routes non-autoroutières à chaussées séparées et à caractéristiques autoroutières ont des taux d'accidents élevés. L'utilisation d'accotements larges revêtus sur ces routes dépend dans différents pays de facteurs supplémentaires, tels que la structure du réseau routier, la topographie et la fonction multiple de la liaison routière. Même si les accotements larges revêtus présentent certains avantages du point de vue de la sécurité, la possibilité d'effectuer un arrêt d'urgence n'apporte probablement que des avantages secondaires. Un accotement revêtu d'une largeur comparable à celle de la bande d'arrêt d'urgence ne semble donc pas nécessaire.

3. Les routes en milieu rural bidirectionnelles à deux voies ont des voies de circulation et des accotements de dimensions considérablement différentes. Dans de nombreux cas, des profils des chaussées à deux voies avec un accotement large revêtu sont utilisés en guise de routes à quatre voies. Les constatations faites en matière de sécurité permettent de conclure que:

- le dimensionnement du profil routier à caractéristiques écologiques devrait donner l'impression d'un "profil routier étroit" qui serait simultanément un large espace routier "aux lignes douces",
- les routes à chaussée unique et à quatre voies devraient être évitées dans les zones rurales,
- une couleur différente de revêtement des accotements pourrait souligner les fonctions particulières de ces voies, distinctes des fonctions des voies principales,
- l'application de petites aires de stationnement tous les kilomètres et de terres-pleins centraux larges est à recommander dans les modalités de conception.

4. Les normes et directives considérées présentent différentes approches du processus de conception, basées chacune sur des faits, des hypothèses, des explications, des réglementations et des recommandations différents.

Seules, les directives néerlandaises, allemandes, danoises et britanniques contiennent certains éléments qui peuvent être recommandés en tant que "modalités optimales".

Il est nécessaire :

- de créer des documents méthodologiques nationaux destinés aux concepteurs et aux planificateurs, contenant des références de directives pour la sécurité routière,
- de se mettre d'accord sur des faits, des hypothèses et des définitions fondamentaux (par exemple la vitesse limite et la vitesse réelle, les éléments du profil de la route, les dimensions des véhicules de référence).

5. La sécurité est un aspect dépendant de plusieurs facteurs inhérents au dimensionnement du profil en travers. Cet aspect devrait revêtir une importance particulière dans les modalités de conception.

Une conception prenant en compte la sécurité exige que les concepteurs connaissent les répercussions de leurs décisions sur la sécurité.

Il est nécessaire :

- d'indiquer dans les directives à la fois la gamme optimale des profils de dimensionnement en travers et les valeurs indispensables du point de vue de la sécurité;
- d'élaborer des procédures claires de calculs économiques et d'évaluation des avantages en matière de sécurité
- de spécifier les conséquences qu'auraient, au niveau de la sécurité, un dépassement des marges de tolérance
- de déterminer le gain, en termes de taux d'accidents, qu'engendrerai un élargissement des voies et accotements.

6. Le type et le dimensionnement des profils en travers, ainsi que les autres caractéristiques physiques de la route, déterminent son caractère. Une lecture critique de la littérature disponible sur l'effet des normes des profils routiers sur la sécurité aboutit à des conclusions incohérentes, sinon contradictoires. Des recherches antérieures ont montré que l'état des voies et des accotements ont un effet direct sur la perte de contrôle du véhicule et sur les collisions frontales.

Il est nécessaire:

- d'entreprendre des recherches au niveau tant national qu'international pour établir la relation très probable entre les accidents survenus et la largeur de voie, le type et la largeur d'accotement pour différents types de profils routiers, les conditions de circulation et l'accessibilité du trafic, les caractéristiques écologiques;
- d'entreprendre une recherche qui aidera à comprendre l'adaptation du comportement, pour analyser les effets négatifs potentiels sur la sécurité de l'adaptation du comportement résultant des éléments de conception.

5.2. Normes de conception des terre-pleins, des accotements et des bermes

5.2.1. Introduction

Dans la plupart des pays européens environ un quart des victimes de la routes sont tuées dans des accidents avec obstacles. Au point de vue de la sécurité routières, la conception de l'accotement des routes est de grande importance.

La sécurité de conception des terre-pleins sert à *empêcher* les passagers des voitures qui quittent la route à subir des *blessures* (graves). C'est-

à-dire que les obstacles durs (ainsi que les talus escarpés et les canaux) doivent être à une distance suffisante de la route ou bien séparés de la route par une barrière de sécurité.

Pour une stratégie de conception des terre-pleins, on peut distinguer trois conceptions de base, applicables tant aux routes à chaussées séparées qu'aux routes à une seule chaussée:

- La première conception, une *zone sans obstacles*, considérée comme la plus sûre de toutes, exclut toute zone de dangers ou d'obstacles. Les véhicules quittant la route peuvent continuer à rouler librement; les conducteurs peuvent éventuellement en reprendre le contrôle.
- Le deuxième type, une *zone avec des obstacles isolés*, prévoit l'implantation de mobilier routier et d'obstacles rigides isolés. Les équipements routiers, tels que poteaux d'éclairage et panneaux de signalisation, doivent être conçus de telle manière qu'au cas où ils sont heurtés par une voiture, ils ne mettent pas en péril la vie des passagers. Les objets rigides que l'on ne peut placer ailleurs devront être protégés séparément (par exemple par une barrière de sécurité de faible longueur ou un atténuateur de choc).
- La troisième conception, de sécurité relativement moindre, est une *zone entièrement protégée*; la zone de danger est trop près de la chaussée. Elle devrait être protégée par une barrière de sécurité tout du long.

O'Connell et al. (1993) a réalisé une collecte de données sur les dimensions des profils routiers dans le cadre du programme DRIVE de la Communauté Européenne. Ce projet couvrait quinze pays.

Les normes allemandes et néerlandaises précisent quels obstacles doivent être protégés d'une barrière de sécurité (par exemple arbres, poteaux, talus escarpés). Elles indiquent également les obstacles qui peuvent être placés sur un terre-plein non protégé (par exemple poteaux en aluminium, panneaux de signalisation, bornes d'appel d'urgence).

5.2.2. Autoroutes en zone rurale

Terre-plein central protégé de barrières de sécurité

Les règles de sécurité les plus détaillées des directives ont été établies par les autorités routières allemandes et néerlandaises (FGSV, 1989; RWS, 1989).

Les glissières de sécurité doivent être placées à une distance suffisante de la chaussée. En cas d'utilisation d'une barrière de sécurité, il faut inclure une certaine distance entre la barrière et la chaussée, afin de tenir compte de la "distance de roulement de sécurité". Cette distance dépend de la vitesse de conception de l'autoroute. Il en va de même pour le dimensionnement de la zone de redressement. Le tableau ci-dessous donne les dimensions.

A. Distance de roulement de sécurité:

vitesse prévue: > ou = 120 km/h: 1,50 m

vitesse prévue: < 120 km/h: 1,00 m

B. Zone de redressement:

vitesse prévue: > ou = 120 km/h: 1,00 m

vitesse prévue: < 120 km/h: 0,50 m

Sur la base de cette relation, deux profils en section de terre-pleins protégés de barrières de sécurité sont tracés.

Terre-plein non protégé

Si un véhicule peut être maîtrisé dans la zone sans obstacles, une barrière de sécurité est inutile.

Critères pour une zone sans obstacles:

- l'impossibilité de traverser le terre-plein en cas d'accident,
- la prévention de manoeuvres pour tourner.

Accotement protégé par des barrières de sécurité

La distance entre la bande de peinture marquant la voie de droite et la barrière de sécurité est le total des dimensions de la bande d'arrêt d'urgence et de l'espace séparant le bord de la bande d'arrêt d'urgence et la barrière de sécurité. La Figure 2 indique les dimensions.

Partant d'une largeur de camion de 2,5 m, la largeur de la bande d'arrêt d'urgence est fixée à 3 + 0,5 m. Douze pays s'accordent sur cette largeur. L'espace libre séparant la bande d'arrêt d'urgence et la barrière de sécurité est fixée à 0,5 m ou plus. Neuf pays sur quinze s'accordent sur cette distance.

Accotement non protégé

Les directives allemandes et néerlandaises expriment une préférence pour les zones sans obstacles. Les largeurs ont été partiellement déterminées sur la base d'études américaines des années 1970.

Dans la plupart de ces études, la largeur de terre-plein était inférieure à 2 ou 3 m. Pour autant que nous sachions, une étude néerlandaise sur les accidents datant de 1983 (SWOV, 1983) était la seule portant sur des zones larges. Cette étude détermine la relation entre le nombre d'accidents mettant en cause des arbres et la distance des arbres au bord de la chaussée. Les accidents en cause des arbres sont reliés au nombre total d'accidents. La densité du trafic (ADT) était introduite comme variable.

Basées sur ces études, les directives néerlandaises stipulent des largeurs variant de 10 m pour les autoroutes à 4,5 m pour les routes à voie unique avec une vitesse prévue de 80 km/h (distances calculées à partir de la ligne de bordure de la voie de droite). Actuellement, ces dimensions ne remportent pas l'adhésion des pays européens. Il est recommandée de fait des études dans ce domaine.

5.2.3. *Consensus et divergences entre les pays de l'UE*

Un tableau regroupant les données des directives a été dressé (voir Annex VIII, Tableau 1). Ce tableau présente tous les éléments du profil routier travers parmi lesquelles la largeur des zones sans obstacles.

Pour chaque catégorie de routes, le tableau indique le dimensionnement des différentes parties du profil sous la rubrique "Modalités optimales". Ces dimensions sont basées sur une estimation du niveau optimal de sécurité et de faisabilité.

La rubrique suivante, "Accord", montre combien de pays ont inclus des largeurs correspondantes dans leurs directives, selon l'étude effectuée par O'Cinnéide, tandis que la rubrique "Désaccord" indique le nombre de pays qui ne l'ont pas fait.

Les deux dernières rubriques du tableau donnent les dimensions citées dans les deux rapports sur les directives routières européennes. Le premier

rapport a été préparé par le groupe de travail Autoroutes, Action START (1994), et se rapporte au réseau routier transeuropéen (TERN). Ce rapport décrit les conditions auxquelles ce réseau routier doit satisfaire. Le second rapport a trait à une étude allemande effectuée par l'institut de technologie de Darmstadt comparant les directives routières des pays de la Communauté européenne (Durth, 1987).

Les points d'interrogation ("?") indiquent qu'une recherche est nécessaire.

5.2.4. Recherche a entreprendre

Ce chapitre traite des points pour lesquels la démarche des pays concernés est moins homogène. Il s'agit des largeurs des zones sans obstacles rendant les barrières de sécurité inutiles

La préférence pour les zones sans obstacles exprimée dans les directives allemandes et néerlandaises est intéressante à étudier. On ne sait pas si ces directives sont appliquées dans la construction des nouvelles routes. A ce jour, aucune évaluation n'a été faite. Il serait tout à fait souhaitable qu'une évaluation soit effectuée sur ce point.

En outre, il serait également souhaitable que les pays qui appliquent des largeurs restreintes de terre-pleins déterminent la proportion d'accidents sur ces routes mettant en cause un obstacle. Il va sans dire qu'il faudrait distinguer les différents types de routes. Une telle étude permettrait d'obtenir une représentation graphique des problèmes associés aux accidents mettant en cause des obstacles, et de rassembler les connaissances fondamentales nécessaires pour définir les largeurs souhaitables des zones sans obstacles.

Si le terre-plein central est suffisamment large, il n'est pas nécessaire d'installer une barrière de sécurité. La question est de savoir quelle largeur est considérée comme suffisante. Les directives néerlandaises mentionnent une largeur de 20 m. Toutefois, cette distance est tellement grande que peu de pays peuvent la respecter.

En ce qui concerne les largeurs restreintes, le critère principal à adopter devrait être le suivant: le terre-plein central ne doit pas être traversé, ni en situation d'accident, ni dans des manoeuvres de changement de direction. Il est donc essentiel de prévoir une séparation physique qui n'induit pas une forte décélération d'impact pour les véhicules qui ont quitté la route. Cette séparation (éventuellement naturelle) a également pour fonction d'empêcher les véhicules lourds (camions et autocars) de traverser le terre-plein central. Le dimensionnement de cette séparation physique et sa distance de la route sont à étudier.

5.2.5. Références

Durth, W. (1987). *Vergleich der Richtlinien für den Strassenentwurf in den ländern der Europäische Gemeinschaft*. Ecole supérieure technique de Darmstadt. Octobre 1987.

FGSV, (1989). *Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Strassen*. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Ausgabe 1989.

Michalsi, L. (Technical University of Gdansk) (1994). *Cross-section*. A-94-8. Annex VI to SWOV-report Safety effects of road design standards.

O'Cinnéide, D., McAuliffe, N. & O'Dwyer, D. (1993). *Comparison of road design standards and operational regulations in EC and EFTA countries*. Conducted within the framework of DRIVE II, Project V2002. Traffic Research Unit, University College Cork. Février 1993.

RWS (1989). *Richtlijnen voor het ontwerpen van autosnelwegen, Hoofdstuk VI, Veilige inrichting van bermen*. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde.

Schoon, C.C. (1994). *Road design standards of medians, shoulders and verges A-94-9*. Annex VII to SWOV-report Safety effects of road design standards.

START (1994). *Interoperability on the Trans-European Road Network*. Groupe de travail Autoroutes. Action START. Commission des Communautés Européennes, Directeurat Général des Transports, janvier 1994.

SWOV (1983). *Boomongevallen*. R-83-23. SWOV, Leidschendam.

5.3 Entrées et sorties d'autoroutes

5.3.1 Introduction

Le trafic routier intereuropéen augmentera avec le développement de la Communauté Européenne. Une grande partie de ce trafic transfrontalier empruntera les autoroutes. Comme la conception des autoroutes suit des directives et des réglementations nationales, on constate de nombreuses différences dans l'aspect des autoroutes. Il faudra encore examiner si ces différences ont des effets négatifs sur la sécurité routière et si elles posent des problèmes aux usagers des routes internationales.

Dans ce contexte, l'étude présente se concentre sur un élément particulièrement important des autoroutes: les entrées et les sorties. Pour un usager ne connaissant pas la route, il est particulièrement important que la conception des routes facilite la conduite, parce qu'il doit en même temps trouver la direction à suivre, accélérer ou réduire la vitesse et changer de voie. L'étude se propose d'analyser et de comparer les caractéristiques de conception des entrées et sorties d'autoroutes dans les différents pays de la CE: les éléments de la conception, la signalisation horizontale et verticale et les réglementations opérationnelles. En outre, elle examine si la conception des entrées et sorties d'autoroutes est apte à assurer la sécurité routière.

Nous avons synthétisé des directives et autres informations des ministères ou départements des transports des différents pays de la CE. La Grèce ne nous a pas donné de réponse, et le Luxembourg utilise soit les directives françaises, soit les directives allemandes. Nous avons également effectué une étude des résultats de recherches internationales. En ce qui concerne la sécurité routière, nous avons réalisé une analyse des accidents survenus à 8 intersections en Allemagne. L'étude est concentrée sur les autoroutes, mais traite aussi des "semi-autoroutes", ou autres routes en zone rurale (voir Steinbrecher, 1994).

5.3.2. Sécurité routière et flux de trafic

Les principaux résultats concernant la sécurité routière que nous avons obtenus après analyse de la littérature (sources principalement allemandes et autrichiennes) et de notre propre analyse d'accidents (6 intersections correspondant aux normes et 2 avec d'accès de longueur réduite) sont les suivants:

- Les accidents se produisent généralement sur les points de jonctions et les échangeurs.
- Les entrées sont plus dangereuses que les sorties. Le nombre d'accidents est 2 à 4 fois supérieur dans les entrées.
- Les accidents par emboutissage sont les plus nombreux (50-60%).
- Toutes les études montrent les effets positifs des voies d'insertion d'une longueur suffisante. Il se produit environ 40-45% d'accidents en moins sur ces entrées que sur les entrées en biseau sans voie d'insertion.
- Les études montrent l'importance d'une signalisation horizontale et verticale sans ambiguïté. Les usagers non habitués sont plus gênés dans les entrées pourvues d'une signalisation inhabituelle que les conducteurs qui connaissent le site.

L'étude de la littérature concernant le flux du trafic montre la situation comme suit:

- L'opinion des pays diverge sur les meilleurs aménagements de sortie; cette opinion évolue avec le temps. On trouve des sorties en biseau et des sorties avec voies de décélération. Les résultats de la recherche ne montrent pas clairement quel aménagement assure un meilleur flux du trafic, ou une capacité plus élevée. Mais les sorties à voies de décélération perturbent moins le flux du trafic sur la chaussée principale.
- Les recherches sur les entrées sont axées sur la capacité. Toutes les études - empiriques et théoriques - montrent une nette amélioration du flux du trafic dans les entrées à voies d'insertion.

5.3.3. Comparaison des directives

La comparaison internationale des directives a montré que de nombreux principes de conception sont communs: les entrées et les sorties sont toujours sur le côté droit dans les pays du continent; il est recommandé d'éviter les intersections dans les virages de la chaussée principale; le profil des bretelles d'accès doit permettre de dépasser une automobile en panne. Mais on constate de nombreuses différences dans les paramètres de conception:

- Les voies parallèles d'accélération pour les entrées et de décélération pour les sorties sont recommandées en Allemagne, aux Pays-Bas, en Belgique et en Espagne. En France et en Grande-Bretagne, elles sont la norme pour les entrées et sont simplement recommandées pour les sorties, dans le cas de bretelles à deux voies. Les directives portugaises prévoient des entrées et des sorties en biseau, mais, dans la pratique, on trouve généralement des voies parallèles d'accélération et de décélération. Dans les directives danoises, la norme est dans tous les cas les entrées et sorties en biseau sans voies parallèles d'accélération et de décélération.
- La longueur recommandée des voies d'insertion est de 200 à 250 m. Compte tenu de la longueur du biseau d'insertion à l'extrémité de la voie d'accélération, les voies d'insertion ont une longueur totale de 250 à 350 m. On en trouve de beaucoup plus longues en Irlande seulement.

- Les entrées en biseau ont des ouvertures sur la chaussée principale de 200 m en Grande-Bretagne et au Danemark, de 250 m au Portugal.
- Pour les voies parallèles de décélération, les directives recommandent une longueur de 150 à 200 m dans le cas de bretelles à voie unique. Seule, la Belgique recommande une longueur nettement plus courte. Compte tenu de la longueur du biseau au début de la voie de décélération, les longueurs totales varient de 200 à 250 m.
- Les sorties en biseau ont des ouvertures sur la chaussée principale de 100 à 170 m. Elles forment avec la chaussée principale un angle d'environ 1:25 ou 1:30.
- Les limites de capacité pour une bretelle d'entrée à voie unique sont mentionnées dans les directives de l'Allemagne, de la France, de la Grande-Bretagne et des Pays-Bas: 1200 à 1500 véh./h.
- Certaines directives donnent des valeurs de décélération pour le calcul de la longueur des zones de décélération: 0,8 m/sec² en cas de freinage moteur et 1,5 m/sec² en cas de freinage normal.

5.3.4. *Marquage, signalisations et réglementations opérationnelles*

Une comparaison de la signalisation horizontale a révélé de grandes différences entre les pays:

- Le bord de la chaussée est normalement marqué d'une ligne continue. En France, cette ligne est discontinue, afin de montrer la possibilité de passer cette ligne pour atteindre la bande d'arrêt d'urgence.
- La séparation entre les voies d'accélération/décélération et la chaussée principale consiste en lignes discontinues. La longueur des sections de ligne varie de 1 à 6 m. Le rapport entre section et intervalle est normalement de 1/1; il est de 1/3 seulement aux Pays-Bas. Au Danemark, on trouve un marquage très différent des entrées: trois sections de ligne seulement sont marquées derrière le musoir; le reste de la zone en biseau ne porte aucune ligne de séparation entre la chaussée principale et la rampe d'accès.
- Aux Pays-Bas, le biseau a une signalisation particulière: toute la surface est blanche; dans d'autres pays, il est marqué d'un chevron. En France, des chevrons jaunes aident à garder la distance de la voiture qui précède, et, en Italie, une signalisation horizontale spéciale recommande une vitesse limite par temps de brouillard.

La signalisation verticale des sorties montre également de grandes différences :

- La couleur standard des panneaux de signalisation sur les autoroutes est le bleu; l'Italie utilise des panneaux verts; le Danemark utilise les deux couleurs. Sept pays ont un système de numérotation des intersections et des échangeurs. En Belgique et en Espagne, les entrées et les sorties portent un numéro, mais pas les échangeurs.
- On trouve normalement 3 ou 4 panneaux pour une sortie. Dans 4 pays, le premier panneau est placé à 1000 m avant la sortie; dans d'autres pays, à 1500 m avant la sortie, et, en France, 2000 m. En France et en Belgique, des panneaux supplémentaires sont placés dans le terre-plein central. Le contenu des panneaux et les symboles utilisés sont très différents.
- Les limites de vitesse ne sont normalisées qu'en France. Un premier panneau limite la vitesse à 100 km/h et est suivi d'autres panneaux limitant la vitesse à 80 km/h puis à 60 km/h dans la bretelle.

- Les Pays-Bas utilisent un panneau spécial "Korte invoegstrook" indiquant une entrée avec une voie d'insertion de longueur réduite,
- Au Danemark, un panneau spécial placé au bord de la chaussée principale, 400 m avant l'entrée, annonce la fusion de deux flux de circulation

En ce qui concerne la réglementation opérationnelle des entrées, presque tous les pays donnent la priorité au trafic circulant sur la chaussée principale. La voie d'arrêt d'urgence ne peut être utilisée qu'en cas d'urgence. Les conducteurs qui n'ont pas réussi à s'insérer dans le flux de circulation de la chaussée principale et qui atteignent l'extrémité de la voie d'insertion doivent s'arrêter. Il n'est pas permis de continuer sur la bande d'arrêt d'urgence. Les conducteurs se trouvant sur la chaussée principale ne sont pas obligés de changer de voie pour faciliter la manoeuvre d'insertion. La situation est complètement différente au Danemark: les conducteurs se trouvant sur la chaussée principale n'ont pas la priorité. Ils doivent s'insérer dans le flux du trafic entrant sur l'autoroute. En Italie, la réglementation autorise les conducteurs, en cas d'embouteillage, à utiliser les bandes d'arrêt d'urgence pour atteindre la sortie. Cette autorisation est limitée aux 500 m qui précèdent la sortie.

5.3.5. Conclusions et recommandations

Considérant les résultats de l'étude dans son ensemble, nous avons découvert des différences fondamentales dans la conception des entrées entre le Danemark et les autres pays de la CE qui faisaient l'objet de cette étude. Le "système de fusionnement" au Danemark:

- les conducteurs se trouvant sur la chaussée principale n'ont pas la priorité;
- les entrées sont en biseau sans voies parallèles d'insertion, mais l'angle formé par la chaussée principale et l'entrée est faible;
- la signalisation horizontale se limite à trois sections de ligne entre la chaussée principale et la rampe d'accès;
- la chaussée principale porte un panneau spécial indiquant la situation de fusionnement à venir.

Le "système prioritaire" dans les autres pays:

- les conducteurs se trouvant sur la chaussée principale ont priorité;
- une voie d'insertion permet l'accélération;
- une signalisation horizontale indique clairement la séparation entre la chaussée principale et la voie d'insertion (modulation 1:1).

On constate dans les deux systèmes une cohérence entre la conception géométrique, la signalisation horizontale et verticale et les réglementations opérationnelles. Les conditions de visibilité sont similaires dans les deux systèmes. Aucun problème de sécurité n'est rapporté pour le Danemark; le "système de fusionnement" est également appliqué dans les autres pays scandinaves.

A cause de l'importance fondamentale de ces différences dans la conception des entrées, nous recommandons de réaliser une étude sur les deux systèmes. Cette étude contiendrait des analyses d'accidents, des observations du comportement, et des entretiens avec des conducteurs afin de permettre une comparaison des deux systèmes. A cet égard, il convient de prendre en considération le fait que le groupe de travail Autoroutes de la

Commission Européenne recommande le "système prioritaire" pour la normalisation de la topologie des routes, dans son rapport provisoire de janvier 1994.

La comparaison des directives des pays à "système prioritaire" a montré que l'utilisation de voies d'insertion est recommandée pour les entrées d'autoroutes. La longueur de ces voies d'accélération est assez homogène; les directives recommandent une longueur supérieure à 200 m, ce qui semble suffisant.

En ce qui concerne les sorties, certains pays recommandent des sorties en biseau sans voie de décélération. Les résultats de recherche ne justifient pas de proposer l'utilisation systématique de voies de décélération dans les sorties. Le plus important est que la longueur de la zone de décélération soit suffisante avant que le conducteur atteigne le rayon minimal de courbe. Ce point est garanti par toutes les directives.

Pour ce qui est des différences constatées dans la signalisation horizontale, il faut tenir compte du fait qu'une signalisation claire peut être plus importante pour la sécurité qu'une signalisation uniforme dans les différents pays. La signalisation doit guider l'usager de la route et le prévenir des situations difficiles. Malgré de grandes différences dans la largeur et la longueur des lignes, il y a un principe commun pour la séparation de la chaussée principale et des voies d'insertion: presque tous les pays recommandent un marquage au sol d'une ligne discontinue avec un rapport de 1:1 entre les sections de ligne et les intervalles.

Les différences considérables que présente la signalisation verticale des sorties peut provoquer des problèmes plus sérieux. La désorientation des conducteurs entraîne des manoeuvres dangereuses: s'arrêter à la pointe de la bretelle pour étudier les cartes, rouler en marche arrière dans la rampe d'accès. Le Groupe de Travail Autoroutes de la Commission Européenne considère, lui aussi, que l'effet de la signalisation verticale sur la sécurité routière est important. C'est pourquoi il a recommandé une harmonisation urgente de la signalisation verticale des sorties d'autoroutes, assortie d'un système de numérotation et de symboles homogènes. En cas de grandes différences dans le nom d'une même ville dans deux langues différentes, le groupe de travail propose de mentionner les deux noms. Le Groupe de Travail ne recommande pas l'utilisation d'une même couleur pour la signalisation sur les autoroutes, parce que le coût d'une telle opération serait élevé et que l'amélioration de la sécurité serait faible.

Etant donné la nécessité généralement acceptée d'harmoniser la signalisation des sorties, nous recommandons d'effectuer une étude afin d'établir des solutions de principe pour les modalités optimales. L'étude devrait couvrir les types de signalisation, l'emplacement des panneaux, leur contenu, les symboles utilisés, etc.

Il convient enfin de mentionner qu'il peut y avoir de grandes différences entre les directives et la réalité des caractéristiques de conception. Dix-sept ans après la publication des directives allemandes, 5% des entrées et sorties (environ 90) de l'ancienne République Fédérale d'Allemagne ont encore des paramètres de conception ne respectant pas les normes des directives (voies d'insertion trop courtes ou absentes). La situation est plus

grave dans l'ancienne RDA: la plupart des entrées n'ont pas de voies d'insertion parce que les anciennes directives ne mentionnaient que les entrées en biseau. Il faudra des années pour adapter cette situation aux directives actuellement en vigueur.

5.3.6. Référence

Steinbrecher, J. (1994). *Design features and safety aspects of exit and entry facilities on motorways in the EC*. Aachen: Ingenieurbüro Steinbrecher. A-94-10. Annex VIII to SWOV-report Safety effects of road design standards.

5.4. Virages sur routes à deux voies

Ce chapitre traite de la sécurité des virages sur routes à deux voies en dehors des agglomérations, et de la façon dont les normes de conception des routes prennent en compte ces aspects de sécurité.

5.4.1. Sécurité dans les virages, résultats de recherche

Les études de type statistique montrent que le taux d'accidents (accidents/km véhicule) est élevé pour les plus faibles rayons et décroît lorsque le rayon augmente.

Le tracé dans lequel le virage prend place est déterminant pour la sécurité dans le virage, d'après plusieurs études de type statistique. Le taux d'accidents des virages de faible rayon de courbure est très élevé si la sinuosité générale du tracé est faible, mais beaucoup plus modéré si l'on est sur un tracé sinueux. Des taux élevés d'accidents sont observés dans les virages situés en extrémité de ligne droite dont le rayon est inférieur au rayon des virages précédents, et quand le nombre de virages au km de route est faible.

D'autres facteurs externes ont été relevés: courbe marquée située dans une forte pente, défaut de visibilité (pendant l'approche) sur le virage ou sur la fin du virage.

D'après certaines études, des facteurs internes de conception (dépendant de la conception de la courbe elle-même) ont également des effets importants sur la sécurité, spécialement sur des virages de rayon moyen faible à modéré. Le défaut principal est l'irrégularité de la courbure à l'intérieur du virage lui-même, caractérisée par la présence d'un rayon minimal, nettement inférieur au rayon moyen du virage. Cette irrégularité de la courbe peut trouver différentes explications: route ancienne au tracé antérieur à l'ère automobile (circularité et régularité des courbes n'avaient alors pas la même importance), virage constitué de courbes multiples de même sens, virage introduit par un raccordement à courbure progressive excessivement long (clothoïde). Sur ce dernier point, des études ont également montré que la présence de raccordements (de longueur conforme aux normes habituelles) détériore la perception du virage en conduisant à une surévaluation du rayon de courbure final et de la vitesse praticable. D'autres défauts internes, tels que des accotements de mauvaise qualité, le manque de planéité de la chaussée dans le virage, interviennent également comme facteurs d'accidents.

5.4.2. *Prise en compte de la sécurité dans les normes de conception relatives aux virages*

Pour ce qui est des courbes, la plupart des normes routières nationales, de même que l'accord AGR, contiennent un noyau commun constitué du concept de vitesse maximale prévue ("design speed" ou concepts équivalents) et de règles concernant la valeur minimale de quelques caractéristiques principales (rayon de courbure, notamment). Certains pays ont introduit des règles ou des démarches complémentaires tenant compte des vitesses réellement pratiquées, et/ou définissant les conditions d'enchaînement des différents éléments du tracé.

Démarche conventionnelle de la vitesse prévue ("design speed")

Les différences entre pays portant sur les caractéristiques minimales (rayon, etc.) d'une même notion de vitesse prévue ne sont pas tellement importantes, et ont peu d'influence sur la sécurité. La difficulté principale réside dans le fait que la démarche conventionnelle de la vitesse prévue lors de la conception est insuffisante pour résoudre certains problèmes importants de sécurité dans les virages.

Excepté quelques rares pays, les notions de vitesse limite, malgré la multiplicité des définitions, relèvent au fond d'un même concept, défini soit par l'objectif (la vitesse constante la plus élevée qui peut être maintenue sur l'ensemble du tracé dans des conditions conventionnelles de sécurité et de confort, en l'absence de gêne liée au trafic), soit par le moyen permettant d'atteindre cet objectif (la vitesse déterminant les caractéristiques minimales du tracé; dans des conditions conventionnelles de sécurité et de confort, un véhicule pourrait emprunter les points les plus difficiles du tracé à cette vitesse).

Le problème lié au fait que les vitesses pratiquées (par exemple le 85^{ème} centile de la distribution des vitesses) peuvent être localement très supérieures à la vitesse de conception, même sur chaussée humide, et donc que les dimensionnements prévus (concernant la visibilité, par exemple) peuvent se révéler inadaptés, a déjà été relevé par d'autres auteurs.

Concernant particulièrement la sécurité des courbes, on pourrait dire que le principe de définition d'un rayon minimal associé à la vitesse limite est à la fois insuffisant et parfois inutilement exigeant.

Insuffisant dans la mesure où, dans le cas fréquent où les normes routières n'introduisent pas de démarche complémentaire à celle de la vitesse limite, aucune règle formelle n'interdit par exemple de prévoir, sur une route où la vitesse limite est de 60 km/h, une courbe de 140 m de rayon après une ligne droite de 600 m, ou après une série de virages de 300 à 400 m de rayon. Alors que nous savons que de telles configurations sont de nature à favoriser l'apparition d'accidents (voir les résultats de recherches mentionnées plus haut).

Par contre, quelle que soit la vitesse de conception, la présence d'une courbe de faible rayon, bien inférieur au rayon minimal, peut ne pas créer de réel problème de sécurité, si cette courbe est précédée et suivie à peu de distance par des courbes de rayon comparable ou légèrement supérieur, elles-mêmes "protégées" par d'autres courbes de rayon compatible. En ce sens, le dimensionnement minimal correspondant à la vitesse de concep-

tion est inutilement exigeant du point de vue de la sécurité, même s'il peut se justifier du point de vue du niveau de service (confort, temps de parcours).

Introduction des vitesses réellement pratiquées

Certains pays ont introduit dans leurs normes les vitesses réellement pratiquées. Par exemple, la vitesse de conception est choisie (ou modifiée) de manière à être cohérente avec les vitesses prévisibles sur le tracé (85ème centile: V85), obtenues à partir d'un modèle. Ou bien, après avoir choisi une vitesse de conception et défini un tracé, on calcule la vitesse prévisible (V85) sur les différentes sections; puis on examine la différence entre cette vitesse et la vitesse limite de conception; si cette différence est trop importante, on modifie le tracé ou la vitesse limite. Les normes d'un autre pays introduisent le calcul de cette vitesse V85 à chaque point du tracé, mais seulement pour vérifier les conditions de visibilité.

Des études de type statistique ont révélé que la vitesse pratiquée dépend fortement des caractéristiques locales à un point donné (principalement: courbure, profil en travers, pente). En conséquence, le calcul d'une vitesse moyenne ou d'une vitesse prévisible sur le tracé peut se révéler inadapté: la vitesse pratiquée sur un site, par exemple, peut être nettement supérieure.

Il ressort des résultats de recherche que les problèmes de sécurité dus aux incohérences du tracé ne peuvent être totalement réduits à une question de vitesse. Même à des vitesses d'approche similaires, le conducteur s'attendra à un virage plus ou moins difficile, sur la base de l'expérience des virages précédents; cette attente aura des répercussions importantes sur le temps de réaction, l'exactitude de l'évaluation de la difficulté par le conducteur, par exemple.

Pour ces motifs, si l'introduction de la vitesse pratiquée, la comparaison entre la vitesse pratiquée et la vitesse limite prévue peuvent être utiles, cette démarche apparaît insuffisante pour éviter les incohérences de tracé entraînant des problèmes de sécurité. Des règles complémentaires, notamment des règles assurant l'enchaînement des éléments du tracé, semblent s'imposer.

Règles de cohérence du tracé

Des recommandations concernant la cohérence des différents éléments du tracé figurent fréquemment dans les normes routières. Mais elles sont généralement informelles et peu précises. Quelques pays ont introduit des règles plus précises, imposant des conditions au rayon minimal en fonction de la longueur de la ligne droite qui précède, et des conditions de compatibilité entre les rayons de deux courbes successives.

Ces règles paraissent de nature à éviter de nombreuses incohérences de tracé et se justifient au vu des résultats des recherches mentionnées ci-dessus. Mais elles sont partiellement basées sur des données empiriques, si bien que les normes incluant ce type de démarche présentent de grandes différences sur ce point.

5.4.3. Signalisation des courbes

Pour améliorer les conditions de sécurité sur les virages des routes existantes, des mesures à faible coût sont possibles lorsque des défauts internes (irrégularité de la courbure, clothoïdes trop longues, défauts concernant l'accotement ou la chaussée) ont été identifiés. Dans ce cas, de très légères modifications du tracé, la reconstitution d'accotements, des traitements touchant la chaussée, sont souvent suffisants. Dans les autres cas, les mesures à faible coût sont généralement limitées à des mesures de signalisation ou d'équipement.

Au-delà des effets positifs de ces mesures de signalisation qui ressortent d'études chronologiques (études généralement biaisées, d'où un effet de régression vers la moyenne), il semble qu'il y ait un manque de résultats suffisamment tangibles concernant les effets de la signalisation ou l'équipement des virages sur les accidents (panneau de virage, panneaux de chevrons, éléments de délinéation sur l'extérieur des courbes, panneau de limitation de vitesse ou de recommandation de vitesse).

Une étude française de type statistique sur les vitesses réellement pratiquées n'a révélé aucun effet significatif des panneaux de limitation de vitesse.

Sur l'extérieur des courbes, des éléments verticaux signalant le virage, régulièrement espacés, donnent au conducteur des informations directement utiles pour la fonction perceptive (estimation par le conducteur de la distance, de la courbure, de la vitesse propre). Mais dans les cas où ce type de signalisation est mis en place sur l'ensemble d'une section, et non seulement dans les courbes, une augmentation des vitesses est fréquemment observée, ce qui entraîne des effets pervers sur la sécurité.

Les réglementations nationales donnent parfois des règles sur l'usage ou le non-usage de certaines mesures de signalisation des virages (panneau de virage, panneaux de chevrons, etc.); lorsqu'elles existent, ces règles diffèrent considérablement d'un pays à l'autre.

5.4.4. Principales conclusions et propositions

Concernant la sécurité dans la conception de la géométrie des courbes, en relation avec la configuration de l'ensemble du tracé, quelques conclusions principales sont résumées ci-dessous.

1. Le concept classique de *design speed* et la démarche de conception associée se révèlent insuffisants pour assurer la cohérence du tracé et la sécurité des courbes.
2. L'introduction, sous différentes formes, des vitesses réelles prévisibles (nécessaires par ailleurs pour vérifier certains aspects comme la visibilité) peut apporter certaines améliorations mais ne peut suffire.
3. L'introduction de règles de cohérence relatives à l'enchaînement des différents éléments du tracé (rayon d'une courbe située en extrémité d'une ligne droite, compatibilité des rayons de deux courbes proches) semble nécessaire du point de vue de la sécurité. Ces règles sont présentes dans certaines normes nationales. Ces règles ne sont pas homogènes et les connaissances sans doute pas assez développées.
4. L'utilisation de courbes complexes constituées de successions d'arcs

circulaires et de clothoïdes de même sens peut poser des problèmes de sécurité et devrait être limitée. D'autre part, les règles de calcul de la longueur des courbes de raccordement (clothoïdes), qui en l'état actuel ont une influence plutôt défavorable sur la perception de la courbure et probablement sur la sécurité, devraient être ré-examinées.

Concernant la signalisation des courbes et ses effets sur la sécurité, il semble que les résultats de recherche ne soient pas encore suffisants pour constituer un fondement intangible pour l'amélioration des normes. Concernant l'utilisation (ou non) de mesures de signalisation en fonction de la difficulté du virage et de sa situation, l'absence d'une démarche homogène dans les différents pays européens est également à relever.

Cet ensemble de conclusions conduit à formuler trois propositions principales:

- Il semblerait souhaitable que les normes nationales qui ne prévoient pas de règles formelles concernant l'enchaînement des éléments du tracé (rayon minimal en extrémité de ligne droite, condition reliant les rayons de courbes proches) en introduisent, en s'appuyant éventuellement sur les règles déjà prévues dans les normes d'autres pays,
- Il paraît d'autre part nécessaire d'approfondir les connaissances dans ce domaine par des recherches sur les relations entre caractéristiques du tracé en amont et conditions de sécurité dans la courbe, pour aboutir à des règles mieux fondées et éventuellement intégrées dans des normes internationales,
- Il serait également important de développer les connaissances concernant les effets de la signalisation des virages sur la sécurité, de façon à rendre possibles des règles plus homogènes à travers les différents pays européens.

5.4.5. *Référence*

Brenac, T. (1994). *Curves on two-lane roads*. Salon-de-Provence: INRETS. A-94-11(E). Annex IX to SWOV-report Safety effects of road design standards.

5.5. **Aménagements pour les cyclistes aux intersections**

5.5.1. *Introduction*

Jusqu'à ce jour, il n'existe aucune vue d'ensemble des différentes normes appliquées aux aménagements pour les cyclistes aux intersections dans les pays de la CE. Nous avons tenté de répertorier ces informations (voir Hagenzieker, 1994 pour le rapport complet), et la tâche s'est révélée ardue. Les normes ont généralement été formulées uniquement dans la langue du pays concerné, or la terminologie n'est pas toujours utilisée de façon cohérente par les différents pays; dans la plupart des cas, à l'intérieur d'un même pays, les normes utilisées ne sont pas rassemblées dans un document unique: on les trouve sous forme de chapitres ou de paragraphes de divers documents relatifs aux normes routières en général.

5.5.2. *Terminologie*

Dans ce paragraphe, nous expliquons certains termes courants, l'emploi des termes dans les directives variant souvent d'un pays à l'autre. Nous

avons choisi d'utiliser ces termes plus courants de façon cohérente, selon les définitions données ci-dessous.

Le terme de *piste cyclable* désigne un aménagement pour cyclistes séparé de la chaussée par un terre plein étroit ou par une bordure de trottoir ("séparation matérielle"). Le terme de *chaussée* se réfère à une route ou à une partie de route à laquelle les véhicules - y compris les bicyclettes en cas d'absence d'une piste cyclable (obligatoire) - ont accès. Le terme de *bande cyclable* se rapporte à une partie de la chaussée réservée aux cyclistes, et est indiquée par des marques ou des lignes peintes au sol ("séparation visuelle"). En ce qui concerne ces aménagements, certains pays, par exemple les Pays-Bas, font une distinction entre ceux dont l'usage est obligatoire et ceux dont l'usage est recommandé. Le terme de *voie cyclable* ne s'utilise que pour les pistes cyclables séparées suivant leur propre tracé (à distance des routes). Le terme d'*itinéraire cyclable* est un terme générique couvrant les pistes, bandes et voies cyclables et les routes non aménagées pour les cyclistes qui servent de lien dans le réseau cyclable.

Un aménagement courant d'intersections pour les bicyclettes, décrit dans diverses directives, est la piste cyclable de contournement. Ce terme désigne une piste cyclable déviée de la chaussée à une certaine distance avant et après une intersection. Les directives danoises parlent de "piste cyclable décalée", tandis que les directives allemandes et néerlandaises utilisent le terme de "piste cyclable recourbée".

Les termes d'*intersection* et de *carrefour* sont interchangeable. Toutefois, *carrefour* s'applique généralement à des types d'intersections relativement grands. Le terme de *voie de franchissement* est utilisé pour la partie de la chaussée empruntée par le cycliste pour traverser.

5.5.3. Comparaison entre pays et conclusions

Il apparaît que quatre pays de la CE seulement possèdent une documentation spécifique sur les aménagements d'intersections pour les cyclistes: le Danemark (voir Herrstedt, 1993 pour une présentation détaillée des directives danoises), les Pays-Bas, le Royaume-Uni et l'Allemagne. L'absence de normes spécifiques pour les aménagements d'intersections pour les cyclistes dans les autres pays de la CE est probablement à imputer au fait que la bicyclette en tant que moyen de transport est (encore) un phénomène rare dans ces pays. Cependant, l'étude présentée pourrait aider les pays qui ont l'intention d'établir des normes dans ce domaine.

Statut des normes

Les différents "Codes de la route" des pays considérés ont un statut obligatoire, et fixent les règles de comportement des usagers de la route, y compris des cyclistes. En conséquence, les panneaux de signalisation indiquant les aménagements qui peuvent ou doivent être utilisés par les cyclistes ont généralement un caractère obligatoire, bien que des panneaux d'informations complémentaires (de caractère facultatif) soient souvent utilisés pour attirer l'attention sur les aménagements pour cyclistes. En outre, la signalisation horizontale indiquant que les cyclistes peuvent ou doivent utiliser un aménagement prévu à un carrefour, telle que la présence ou l'absence de lignes discontinues et des symboles de cycles peints sur le sol, ont généralement un caractère obligatoire. Cependant, les nor-

mes de conception d'aménagements d'intersections ou de "solutions" pour cyclistes analysées dans la présente étude sont en règle générale des directives et des recommandations non obligatoires. Les termes de "directives" et de "recommandations" décrivent donc mieux leur statut que le terme de "normes".

En général, on peut s'écarter de la plupart des directives, ou bien en adoucir l'application, si on le considère "opportun"; il s'agit donc de recommandations. On ne peut s'écarter d'autres directives qu'avec des motifs fondés. Dans tous les pays de référence, il existe des procédures à suivre quand on veut s'écarter des directives. Aux Pays-Bas, par exemple, on distingue explicitement les différents types de normes et il est indiqué dans les documents mêmes si les aménagements décrits sont des directives ou des recommandations. Dans les autres pays, toutefois, les documents consultés ne renseignent pas toujours clairement sur le statut des aménagements décrits.

Le Danemark et les Pays-Bas connaissent des directives et recommandations différentes pour les aménagements d'intersections pour cyclistes dans les agglomérations et à l'extérieur de celles-ci. En Allemagne, la plupart des directives et recommandations et, en Grande-Bretagne, toutes les directives et recommandations s'appliquent à la fois dans les agglomérations et à l'extérieur de celles-ci.

Rôle des considérations sur la sécurité routière

Bien que les considérations sur la sécurité routière en tant que critères servant à établir les directives et recommandations pour les aménagements d'intersections pour les cyclistes soient considérées comme "importantes" dans tous les pays, elles sont confrontées à d'autres critères, tels que le volume du trafic et le confort. Il est souvent difficile de déterminer quelle a été l'influence de la sécurité routière: était-ce le critère déterminant ou bien d'autres critères l'ont-ils emporté sur la sécurité routière? Si la sécurité routière est "globalement" considérée comme un critère important, les directives manquent d'indications qui justifient le choix d'un aménagement ou d'un élément de l'aménagement pour cyclistes de préférence à d'autres.

D'une manière générale, les directives elles-mêmes ne contiennent pas de preuves solides de sécurité. Les directives ne mentionnent pas de références explicites de résultats de recherche. Ainsi, même si les directives affirment qu'un certain aménagement est recommandé "pour des raisons de sécurité routière", on ne peut pas déterminer s'il s'agit d'hypothèses ou de preuves empiriques. Les directives n'indiquent pas non plus si ce type de données existe ou a été utilisé comme fondement des directives. Bien que les directives danoises ne se réfèrent jamais à des résultats de recherche, il apparaît qu'au Danemark, le terme de "sécurité" ne peut être mentionné dans les directives que si des résultats de recherche confirment l'assertion en question.

Dans l'ensemble, nous avons l'impression que les évaluations de sécurité d'aménagements d'intersections spécifiques pour cyclistes basées sur des données d'accidents sont rares.

Principes et solutions communs

Une *bonne visibilité* est considérée par toutes les directives comme un principe ou un critère (de sécurité) important. Les aménagements pour cyclistes doivent être visibles à une distance suffisante avant l'intersection. A cette fin, on peut créer une zone sans obstacles gênant la vue. Au Danemark, il est généralement recommandé qu'aux intersections, les bicyclettes soient près des véhicules à moteur, pour éviter qu'elles ne soient pas vues. C'est pourquoi, bien souvent, les pistes cyclables deviennent des bandes cyclables 25 m avant le carrefour. Les pistes cyclables de contournement ne sont donc, en principe, pas recommandées au Danemark, bien que des exceptions soient possibles, et les directives danoises contiennent des recommandations pour l'aménagement de pistes cyclables de contournement pour le cas où elles sont appliquées.

Aux intersections pourvues de panneaux de priorité, les pistes cyclables ne sont généralement pas détournées de la chaussée prioritaire. Ainsi, il est clair pour les conducteurs de véhicules à moteur venant de la route transversale que les cyclistes sur la route principale ont priorité. Ceci s'applique également au trafic venant de la route principale et changeant de direction. *Le contournement est généralement recommandé aux intersections sans feux de signalisation et partout où il est important que les véhicules à moteur venant de la route principale et changeant de direction ne se mêlent directement aux cyclistes traversant la route transversale.* Cette solution est surtout recommandée en dehors des agglomérations. Elle peut s'accompagner d'une inversion des règles de priorité.

En général, *les règles et la conception de la priorité* sont deux facteurs d'importance dans les intersections. *On discute encore pour savoir quelle réglementation de priorité est "meilleure" ou "plus sûre".* En Allemagne, par exemple, il n'est pas recommandé d'inverser les règles de priorité pour les cyclistes aux intersections (c'est-à-dire que les cyclistes doivent laisser passer le reste du trafic au lieu d'avoir priorité sur le reste du trafic), pas même en dehors des agglomérations. Aux Pays-Bas, cependant, l'inversion des règles de priorité est souvent recommandée en dehors des agglomérations, généralement accompagnée de la mise en place de pistes cyclables de contournement aux intersections. On trouve également l'inversion des règles de priorité - dans certaines conditions - dans les directives du Royaume-Uni.

Les refuges ou îlots sur la route à traverser permettent aux cyclistes de traverser en étapes. Ces aménagements sont souvent recommandés lorsque les cyclistes n'ont pas priorité.

La *séparation*, physique ou visuelle, des cyclistes du reste du trafic est également un critère mentionné dans toutes les directives. La séparation physique s'obtient à l'aide de carrefours dénivelés ou de voies cyclables ayant leur propre tracé. Ce genre d'aménagement étant souvent difficile à créer (à cause du manque d'espace, par exemple), la "solution" généralement adoptée consiste à aménager une piste cyclable. Les "*streamed cycle tracks*" (courtes pistes cyclables de contournement) sont souvent recommandées quand le profil en coupe à l'approche d'un carrefour très circulé n'offre pas l'espace nécessaire pour construire des aménagements pour cyclistes, tandis que le carrefour lui-même offre la possibilité de guider les cyclistes séparément des autres usagers de la route. Les pistes de ce type

commencent à courte distance du carrefour et se terminent généralement environ 20-50 m après le carrefour. La séparation visuelle se réfère à des bandes cyclables indiquées par une signalisation horizontale. Quelle que soit la solution choisie, toutes les directives précisent qu'une *signalisation sans ambiguïté* permet d'améliorer la sécurité des cyclistes.

La préférence accordée à certains aménagements plutôt qu'à d'autres dépend de la *vitesse et du volume du trafic à moteur*. Des recherches ont montré que l'on obtient parfois un meilleur niveau de sécurité en mêlant le trafic cycliste au trafic automobile aux intersections qu'en isolant les cyclistes sur des pistes cyclables. La plupart des directives recommandent par exemple de mêler le trafic cycliste au reste du trafic lorsque les vitesses et les volumes du trafic automobile sont peu élevés. Encore une fois, une signalisation horizontale claire doit indiquer les endroits réservés aux cyclistes. Les *couloirs de présélection* sont souvent recommandés quand les cyclistes ont besoin d'une canalisation directionnelle pour franchir l'intersection et quand le profil de la chaussée à l'approche du carrefour est pourvu de bandes cyclables, ou en cas d'absence de tout aménagement pour les cyclistes, alors qu'une canalisation directionnelle est considérée comme nécessaire. Les couloirs de présélection pour cyclistes peuvent, par exemple, éviter des conflits entre les véhicules à moteur tournant à droite et les cyclistes traversant le carrefour sans changer de direction. Pour augmenter cet effet, il est souvent recommandé de peindre les couloirs dans une *couleur différente*, ou bien d'appliquer des voies de franchissement à *surface en matériau différent*.

Les *tourne-à-gauche indirects* pour cyclistes sont généralement recommandés lorsque la chaussée menant à l'intersection bénéficie d'un aménagement linéaire. Un tourne-à-gauche indirect est également recommandé en cas d'absence d'aménagement linéaire, quand un tourne-à-gauche direct est considéré comme trop dangereux. Il faut toutefois penser que, pour assurer la sécurité des cyclistes, le tourne-à-gauche indirect doit réellement être utilisé par eux. Or, quand le temps d'attente est trop long et que la vitesse et le volume du trafic automobile sont faibles, les cyclistes négligent souvent l'aménagement prévu. Dans ce cas, les couloirs de présélection permettant de tourner à gauche directement sont à préférer.

Les *feux de signalisation* peuvent être appliqués pour la sécurité des cyclistes. Cependant, la plupart des directives recommandent d'une manière ou d'une autre d'éviter autant que possible la l'obligation d'appliquer des feux de signalisation en modifiant l'intersection. En cas d'application de feux de signalisation, il est généralement recommandé que ces installations soient régulées de manière à éviter tout conflit, que le temps d'attente soit court, qu'une phase cycliste soit prévue (c'est-à-dire une phase pendant laquelle le feu est au vert pour les cyclistes tandis qu'il est au rouge pour le reste du trafic), et que l'ordre des phases soit favorable aux cyclistes. Pour éviter les conflits entre les bicyclettes franchissant le carrefour sans changer de direction et les véhicules tournant à droite, on peut recommander un départ anticipé. Les directives recommandent fréquemment un aménagement séparé permettant aux cyclistes de tourner à droite sans avoir à tenir compte des feux de signalisation.

Les couloirs de présélection, les refuges et les *aires d'attente* pour cyclistes sont souvent recommandés pour les intersections à trafic mixte ou à

séparation visuelle Aux Pays-Bas, pour les carrefours à feux de signalisation, les directives recommandent les sas, qui consistent en un espace séparé réservé aux cyclistes, aménagé en tête des voies de circulation du trafic automobile, à l'extrémité d'une bande cyclable. Cet aménagement crée une aire d'attente pour cyclistes et est souvent associé à un départ anticipé pour cyclistes aux intersections armées de feux. Une application expérimentale de ces aménagements au Royaume-Uni, bien qu'ils ne soient pas (encore) prévus dans les directives, montrent des résultats encourageants en termes de sécurité et d'utilisation.

En ce qui concerne les *carrefours giratoires*, les recherches effectuées au Danemark et aux Pays-Bas n'ont donné aucun résultat permettant de conclure s'il vaut mieux mêler les cyclistes aux autres usagers de la route ou bien s'il est préférable d'aménager des pistes ou bandes cyclables dans l'aire de circulation des carrefours giratoires. Les différentes directives contiennent donc généralement des recommandations pour tous les types d'aménagements pour cyclistes. Tandis que les expériences danoises et néerlandaises font ressortir un niveau relativement élevé de sécurité pour les cyclistes, comparé aux autres types d'intersections, les directives du Royaume-Uni affirment que les carrefours giratoires posent des problèmes particuliers aux cyclistes. La conception et la configuration des carrefours giratoires, qui diffèrent d'un pays à l'autre, ont de toute évidence des implications pour la sécurité des cyclistes et, par conséquent, pour le choix des aménagements pour cyclistes à recommander.

Il ressort des paragraphes précédents qu'au-delà des principes et recommandations communs, on constate des différences entre les directives des divers pays. Il apparaît que des différences importantes ont parfois trait aux détails donnés dans les directives, tandis que d'autres différences se rapportent aux directives elles-mêmes. Ceci s'explique probablement par le fait que les cyclistes sont relativement peu nombreux à participer au trafic en Allemagne et au Royaume-Uni, tandis que la bicyclette est un moyen de transport courant au Danemark et aux Pays-Bas. Il va de soi que cette différence de situation a des conséquences à la fois pour le besoin ressenti dans les différents pays de directives séparées pour les aménagements de carrefours pour cyclistes, et pour le contenu de ces directives. Par exemple, en Allemagne et au Royaume-Uni, les aménagements sont souvent partagés par les cyclistes et les piétons, ce qui est rarement le cas au Danemark et aux Pays-Bas. On trouve donc des recommandations pour un "usage commun" dans les directives des deux premiers pays et non dans celles des deux derniers. L'application des pistes cyclables et des bandes cyclables varie également dans les différents pays; par exemple, les pistes cyclables sont presque inexistantes au Royaume-Uni, tandis que ces deux types d'aménagement sont fréquents dans les autres pays. Cette situation se reflète dans les directives: les directives danoises mettent l'accent sur les pistes cyclables (les bandes cyclables existent, mais ne sont pas régies par des directives séparées); les directives néerlandaises et allemandes contiennent des recommandations pour les deux types d'aménagement, et les directives britannique mettent l'accent sur les bandes cyclables et les "aménagements communs".

Enfin, il semble que les écarts par rapport aux directives concernant les aménagements de carrefours pour cyclistes soient fréquents. En Allemagne, par exemple, de nombreuses pistes cyclables ne satisfont pas aux normes et provoquent de multiples conflits, y compris avec les piétons.

Recommandations

Pour les pays de l'UE qui ne possèdent pas actuellement de directives spécifiques pour les aménagements d'intersections pour cyclistes, les recommandations résumées dans ce rapport, et en particulier les "solutions communes" mentionnées ci-dessus peuvent être un bon point de départ pour l'établissement de directives dans ce domaine.

Les aménagements d'intersections pour cyclistes ayant fait leurs preuves en matière de sécurité devraient être utilisées comme normes. Cependant, comme nous l'avons indiqué plus haut, il apparaît que les directives elles-mêmes ne contiennent pas de preuves solides de la sécurité offerte par les aménagements. Les solutions communes mentionnées pourraient constituer un premier pas en direction de "normes", mais un examen systématique des directives lié aux résultats de recherche disponibles permettrait de définir des normes fondées sur le plan de la sécurité. Les lacunes en matière de preuve et les besoins de recherche apparaîtraient alors clairement. Nous avons l'impression pour l'instant que les recherches sur les effets sur la sécurité des aménagements spécifiques des carrefours pour les cyclistes sont peu nombreuses. Par conséquent, nous recommandons des comparaisons entre divers aménagements pour cyclistes à l'aide d'études d'accidents et de comportement, à l'intérieur des pays et entre les pays.

5.5.4. Références

Hagenzieker, M.P. (1994). *Bicycle facilities at intersections. A review of the guidelines in Denmark, the Netherlands, United Kingdom, and Germany*. Leidschendam, SWOV. A-94-13. Annex XI to SWOV-report Safety effects of road design standards.

Herrstedt, L. (1993). *Bicycles at intersections in the Danish Road Standards*. Danish Road Directorate, Traffic Research Division. A-94-12. Annex X to SWOV-report Safety effects of road design standards.

6. Normes les plus performantes

6.1 Introduction

La cause d'un accident de circulation est rarement simple. Le plus souvent, l'accident est le résultat d'une combinaison de circonstances impliquant interactivement l'homme, la route et le véhicule. Pour améliorer significativement la sécurité du trafic routier, il faut créer une infrastructure adaptée aux limites et possibilités de l'homme grâce à une conception routière adéquate.

Une bonne conception de la voirie est indispensable pour éviter les erreurs humaines dans la circulation et la prévention des erreurs humaines signifie moins d'accidents.

Si l'on veut éviter les erreurs humaines, il convient de mettre en oeuvre de manière systématique et cohérente trois grands préceptes de sécurité:

- empêcher une utilisation incohérente des voies
- éviter de trop grandes disparités de vitesse, de trajectoires ainsi qu'une trop grande hétérogénéité entre les différents véhicules pour les moyennes hautes vitesses
- bannir l'imprévisibilité entre les usagers de la route, en favorisant une meilleure anticipation des trajectoires à suivre et des autres conducteurs.

Une conception routière conforme à ces principes de sécurité et mobilisant tout le savoir-faire disponible est susceptible de réduire considérablement le nombre et la fréquence des accidents par rapport à la situation actuelle en Europe.

Dans tous les Etats membres de l'Union Européenne, les normes de conception routière jouent un rôle crucial, mais certains problèmes importants subsistent. En tout premier lieu, tous les pays ne disposent pas de normes de conception routière pour tous les types de chaussées. Les pays qui en ont ne les appliquent pas toujours. Lorsqu'elles sont appliquées, l'existence de marges d'interprétation conduit à des conceptions routières différentes au sein d'un même espace juridique. En outre, la présente étude a clairement mis en évidence l'insuffisante harmonisation entre pays en ce domaine.

L'harmonisation incomplète des normes de conception routière appliquées sur le réseau routier européen est en soi un facteur de risque qui contribue à expliquer l'ampleur des problèmes de sécurité routière rencontrés en Europe. L'intensification du trafic intra-communautaire rend plus justifiée encore, du point de vue de la sécurité routière, l'harmonisation des normes de conception routière au niveau de l'Union Européenne, voire de l'ensemble des pays européens (et notamment les pays d'Europe centrale et orientale).

Un programme de recherche commun visant à élaborer des normes de sécurité routière devrait logiquement s'avérer plus efficace et économique que les efforts disparates en ce sens des divers pays concernés. Nous recommandons donc que la Commission de l'Union Européenne prenne l'initiative de lancer un tel programme de recherche et qu'elle collabore avec les Etats membres et les autres organisations internationales compétentes.

6.2. Considérations préliminaires

Les voies routières ont une triple fonction: circulation, distribution et accès. La combinaison de ces diverses fonctions conduit nécessairement à des problèmes de sécurité routière. L'introduction d'une classification routière rendrait les usagers plus conscients de la fonction principale d'une rue ou d'une route donnée. Si elle est correctement conçue et mise en oeuvre, cette classification induirait de la part des usagers des comportements plus conformes aux souhaits des autorités routières.

En d'autres termes, les systèmes de classification des routes devraient être centrés davantage sur les usagers que sur les besoins des gestionnaires du réseau routier.

La sécurité routière n'est que l'un des critères qui interviennent dans la conception des routes et rues. Malheureusement, elle n'intervient le plus souvent que de manière implicite. Nous recommandons de mettre davantage en avant la sécurité routière en rendant plus explicites les aspects qui la concernent. A cette fin, nous soulignons l'utilité potentielle des évaluations de la sécurité routière et des études d'impact.

Les quatre objectifs des normes de conception routière devraient être: cohérence, uniformité, homogénéité et prévisibilité. Même si des normes de conception routière impératives apparaissent comme la meilleure solution, il faut accepter certains écarts par rapport à ces normes justifiés par des raisons économiques ou le manque d'espace. En raison des importantes conséquences négatives de tels écarts par rapport aux normes, il est recommandé que leurs impacts sur la sécurité routière soient rendus aussi explicites que possible chaque fois que de tels écarts sont envisagés. En tout état de cause, aucun écart par rapport aux normes de conception ne devrait être autorisé sur le réseau autoroutier. En termes de sécurité, il convient de recommander une harmonisation des normes de conception applicables aux autoroutes. Pour tous les autres types de voiries, les lignes directrices seront préférées aux normes impératives. L'harmonisation internationale de ces lignes directrices pourrait être encouragée grâce à un système équilibré de marges de tolérance permettant aux responsables de la conception de s'écarter de certaines 'normes' dans le cadre d'un ensemble de directives bien argumentées précisant les cas où des écarts sont tolérés ainsi que les conséquences pour la sécurité de tels écarts. Outre l'harmonisation des normes de conception, il est recommandé de s'efforcer d'introduire en Europe des règles de circulation routière cohérentes.

6.3. Méthodes de recherche

L'étude montre que les normes de conception routière tenant compte de la sécurité routière sont rarement fondées sur une analyse des accidents.

Lorsqu'elles le sont, la qualité des méthodes et techniques utilisées n'est pas toujours sans reproche. La mesure de la relation entre accidents et paramètres de conception routière s'avère difficile, ce qui peut expliquer l'état médiocre de nos connaissances en ce domaine.

La relation entre paramètres de conception routière et accidents peut être quantifiée grâce à deux types de techniques.

1. La méthode chronologique

Cette méthode consiste à identifier des sites expérimentaux pour lesquels des modifications de conception sont proposées et à comparer les données

observées avant et après l'introduction de ces modifications. Il convient cependant de tenir compte d'un certain nombre de facteurs générateurs de complications: variations aléatoires des données de base sur les accidents, éventuelles modifications systématiques dans le temps des fréquences d'accidents, problèmes suscités par le choix de sites expérimentaux caractérisés par des fréquences élevées d'accidents avant traitement (biais de sélection) et migration des accidents (déplacement, plutôt que solution, des problèmes de sécurité routière). Ces problèmes peuvent être surmontés grâce à une conception minutieuse des études chronologiques et à l'utilisation de techniques statistiques adéquates, l'une et l'autre devant éviter aux chercheurs et aux décideurs politiques de tirer des conclusions erronées.

2. L'approche dite transversale.

Cette approche met en relation les données relatives aux accidents, à la circulation et à la géométrie des voies routières, d'une part et les informations sur les facteurs de risque (conditions météorologiques, usage d'alcool, etc.) relevées sur un large éventail de sites d'un type donné, d'autre part. Ces analyses permettent d'estimer les relations entre le risque et la gravité des accidents, d'une part et les variables de conception géométrique, d'autre part. Les techniques de modélisation statistique (maniées par des experts) permettent d'obtenir des conclusions correctes.

Il est recommandé de compléter ces analyses d'accidents par des études comportementales. Les études sur le terrain, en particulier, qui permettent d'observer le comportement dans des conditions de circulation réelle, pourraient contribuer à expliquer les résultats des études d'accidents. En outre, les études de comportement peuvent éclairer les responsables de la conception routière sur la conformité des résultats d'une conception routière donnée par rapport aux objectifs recherchés. Ainsi, les études de comportement (études sur le terrain, en laboratoire et enquêtes par correspondance et entretiens directs) doivent permettre aux chercheurs et aux responsables de la conception de comprendre la réaction des usagers à la modification des caractéristiques de la voirie.

6.4. Normes de conception routière internationales et nationales

Le plus souvent, les normes de conception routière et les réglementations en matière de trafic routier sont du ressort national. A mesure que le trafic tend à s'internationaliser, cependant, les réglementations et normes internationales deviennent plus indispensables, de même qu'une certaine harmonisation. L'utilisateur de la route ne peut qu'en tirer bénéfice, ce qui devrait se traduire par un impact positif sur la sécurité routière.

L'organisation la plus importante en matière de normes de conception routière est l'Union Européenne. Elle est, en effet, la seule organisation internationale habilitée à traduire en termes juridiques les décisions prises. Le Traité de Maastricht étend la compétence de l'Union Européenne à de nouveaux domaines. Ainsi, il introduit dans l'article 75 une disposition nouvelle en matière de sécurité routière et comporte un nouveau chapitre tout entier consacré aux réseaux trans-européens (article 129). Dans la mesure où l'Union Européenne devient un des premiers investisseurs en infrastructures, il n'est que rationnel que ces décisions soient coordonnées avec les Etats membres. La programmation et la qualité des investissements en infrastructures sont importantes aussi bien pour les instances

européennes que pour les autorités nationales, particulièrement dans le cas du réseau routier transeuropéen. La Commission Economique des Nations Unies pour l'Europe a été le cadre de l'Accord Européen sur les grandes routes de trafic international (AGR). Cet accord instaure le réseau routier E. Il comporte des annexes proposant notamment des normes de conception routière. En substance, l'étude conclut à l'insuffisance de l'AGR. Il ne comporte que peu de 'normes' et ses recommandations sont formulées de manière imprécise. En outre, du point de vue de la sécurité routière, la perception du réseau routier E par l'utilisateur est loin d'être évidente.

Il convient de mentionner à cet égard les travaux du Comité Européen de Normalisation (CEN). En son sein, le Comité Technique 226 traite de la normalisation européenne des équipements routiers. Le CEN établit des critères fonctionnels.

D'autres organes internationaux - OCDE, PRI, FERSI, FRI, AIPCR, AIT/FIA et CEMT notamment - sont connus pour leurs travaux en matière d'échanges d'informations, de recherche, de mise en oeuvre des politiques, etc.

Chacun des douze Etats membres de l'Union Européenne a ses propres normes de conception routière, à l'exception de la Grèce et du Luxembourg, qui les empruntent à d'autres pays, encore que la Grèce ait entrepris d'élaborer ses propres normes nationales.

Les dix autres pays ont tous des normes pour les voies rurales; dans certains pays, celles-ci sont impératives, dans d'autres pas. Cinq pays seulement ont des normes pour les voies urbaines, mais elles ne sont impératives qu'en Italie. Certaines normes (Portugal et Royaume-Uni) mentionnent explicitement l'assouplissement des ou les écarts par rapport aux normes.

Les conditions et modalités de l'impact des écarts par rapport aux normes, impératives ou non, sur la sécurité routière sont mal connues et devraient être davantage étudiées: un programme de recherche devrait être entrepris chaque fois qu'un manque de connaissances rend impossible toute évaluation des mesures d'assouplissement ou des écarts consentis.

6.5. Etudes détaillées

6.5.1. Conception du profil des chaussées

Les normes de conception des autoroutes doivent être particulièrement sévères, dans la mesure où des vitesses élevées (100 à 130 km/h) sont autorisées sur ces voies, dont les usagers attendent une continuité des caractéristiques de conception. Les autoroutes non conformes à ces normes et les artères non autoroutières à deux chaussées séparées dotées de caractéristiques autoroutières sont caractérisées par des fréquences d'accidents relativement élevées: elles devraient être bannies pour des raisons de sécurité. De même, les routes à quatre voies sans bande de séparation devraient être évitées dans les zones rurales. L'efficacité des terre-peins centraux ne fait aucun doute: ils réduisent la fréquence des accidents, particulièrement lors de manoeuvres de dépassement.

Les résultats de recherche autorisent à mettre en doute la validité de l'hypothèse jusqu'ici incontestée associant positivement largeur de voie et sécurité. Il est recommandé d'entamer une recherche européenne sur la largeur optimale des chaussées et des plateformes de divers types de routes. La plupart des pays de l'Union Européenne appliquent une *largeur de*

chaussée de 3,75 mètres sur leurs autoroutes. On trouve rarement une largeur de 3,25 mètres, et lorsque c'est le cas, uniquement pour des vitesses prévues lors des calculs limitées à 90 km/h. L'élargissement de la chaussée autoroutière au-delà de 3,5 mètres n'améliorant pas la sécurité, une largeur de 3,5 mètres peut être recommandée. Dans le cas des autoroutes urbaines, l'impact sur la sécurité d'une largeur de chaussée de 3,25 mètres devrait être étudié.

La *largeur des accotements traités* (bandes latérales d'arrêt d'urgence dans le cas des autoroutes) varie considérablement, de 2,0 à 3,75 mètres. Le plus grand désaccord prévaut en Europe sur la largeur recommandée de ces accotements traités. Cependant, du point de vue de la sécurité routière, une largeur minimale de 3 mètres peut être recommandée.

La *largeur de plateforme* est la somme des largeurs de la chaussée et de l'accotement, soit une largeur minimale de 9,5 mètres pour chaque chaussée d'une autoroute à 2 x 2 bandes. Une largeur de revêtement de 11,5-12,0 mètres est recommandée dans certains pays pour des raisons d'entretien. L'impact sur la sécurité de cette approche devrait être étudiée.

Les largeurs des chaussées et des accotements des routes rurales à circulation bidirectionnelle à deux voies varient considérablement.

6.5.2. *Terres-plein centraux et latérales, accotements*

L'objet d'une conception adéquate des terres-pleins latérales est d'empêcher que les occupants des véhicules qui quittent la chaussée soient (grièvement) blessés. A cet égard, on distingue trois stratégies de base: absence de tout obstacle; présence d'obstacles isolés, mais conçus de telle sorte qu'ils ne mettent pas en danger les occupants des voitures; zone totalement protégée (au moyen de glissières de sécurité). Le meilleur choix est la zone sans obstacle, bien qu'elle ait fait l'objet de peu de recherche. Une étude néerlandaise conclut à des largeurs variant de 10 mètres pour les autoroutes à 4,5 mètres pour les routes à chaussée unique conçues pour une vitesse de 80 km/h. Une étude internationale est ici recommandée.

La conception des terres-plein centraux des autoroutes protégées par des glissières de sécurité est bien documentée. La figure illustre, sur la base de résultats de recherche, deux profils en travers d'une terre-plein centrale dotée de glissières de sécurité.

La distance entre la ligne longitudinale indiquant la limite extérieure de la chaussée et la glissière de sécurité située sur un accotement est la somme des dimensions de la bande d'arrêt d'urgence et de la distance qui sépare celle-ci de la glissière de sécurité.

Sur les routes rurales à deux chaussées non séparées, où la fréquence des accidents est plus élevée que sur les autoroutes, il n'est pas recommandé d'équiper les bords de glissières de sécurité en raison du risque de collisions frontales avec les véhicules qu'elles sont susceptibles de relancer vers le centre de la chaussée.

6.5.3. *Aménagement des entrées et des sorties d'autoroutes*

Les *entrées d'autoroutes* sont plus dangereuses que les sorties: le nombre des accidents y est de 2 à 4 fois supérieur à celui qui survient dans les sorties. Les voies parallèles d'accélération ont un impact positif sur la sécurité routière, pourvu que leur longueur soit suffisante. Davantage

d'accidents surviennent sur les entrées en biseau sans voies parallèles d'accélération. Les études montrent l'importance d'un bon marquage au sol et d'une signalisation claire, pensée en particulier en fonction des usagers étrangers. La longueur recommandée des voies d'accélération va de 200 à 250 mètres. Si on y inclut la longueur du biseau terminant la voie d'accélération, les valeurs correspondantes sont de 250 et 350 mètres.

Les divers pays ne sont pas d'accord sur la meilleure configuration des *dispositifs de sortie*. Bifurcations en biseau et sorties avec voies parallèles de décélération sont toutes deux utilisées en Europe et les résultats de recherche n'indiquent pas le meilleur choix en termes de sécurité routière. Dans le cas de voies parallèles de décélération, les lignes directrices recommandent une longueur de 150 à 200 mètres pour une sortie à une seule voie de circulation.

On trouve de grandes différences dans la signalisation verticale des dispositifs de sortie. La couleur standard de la signalisation autoroutière est le bleu, seule l'Italie ayant opté pour le vert. Un nombre restreint de pays ont un système de numérotation des croisements et échangeurs. Le nombre de panneaux de signalisation par sortie varie de trois à quatre. En ce qui concerne les procédures réglementaires d'accès, pratiquement tous les pays donnent la priorité à la chaussée principale; le Danemark fait exception, en obligeant les conducteurs de la chaussée principale à permettre l'insertion des véhicules entrant.

L'importante variation de la signalisation verticale des sorties est susceptible de créer davantage de problèmes que les différences de marquages au sol: l'incertitude quant à la direction à prendre suscite une conduite dangereuse. Il faut donc recommander l'harmonisation de la signalisation verticale de sortie.

En ce qui concerne la conception des dispositifs d'entrée, le Danemark se distingue fondamentalement des autres Etats membres. En l'absence d'indication quant à l'impact sur la sécurité, il est recommandé d'entreprendre une étude comparant le 'système fusionnel' danois et le 'système prioritaire' des autres pays de l'Union Européenne.

Pour les sorties, certains pays recommandent les bifurcations en biseau sans voies parallèles de décélération, qui ne sont d'ailleurs justifiées par aucun résultat de recherche disponible. Le facteur le plus important est une longueur suffisante permettant la décélération avant que le conducteur atteigne le rayon de courbe minimal.

De grandes différences entre les divers Etats membres de l'Union Européenne ressortent de la comparaison des marquages au sol. Un consensus apparaît cependant en matière de séparation des voies d'accélération/décélération et des voies de circulation principales: pratiquement tous les pays recommandent les hachures de largeur égale à celle des espaces intermédiaires.

6.5.4. *Virages des routes à deux voies*

Les études statistiques montrent que les accidents sont plus fréquents dans les virages que dans les lignes droites. Dans les virages, leur fréquence est inversement proportionnelle à la valeur du rayon. Dans les virages de

faible rayon, le nombre d'accidents est d'autant plus élevé que la sinuosité d'ensemble du parcours est faible. Enfin, selon certaines études, la variabilité de cette sinuosité elle-même (rayon localement très faible par rapport au rayon moyen, tournant à courbe de transition excessivement longue ou à degré de courbure variable, accotements défectueux) a un impact négatif sur la sécurité routière.

En matière de normes de conception routière, la philosophie de base quant aux virages repose sur une vitesse de calcul induisant de faibles valeurs des principaux paramètres. L'introduction de la vitesse d'approche effective (attendue) est intéressante, mais non suffisante pour compléter l'approche classique. Certains pays y ont ajouté une variété de règles ou techniques faisant intervenir les vitesses effectives et la succession des différents éléments du tracé en plan.

Les résultats de recherche suggèrent que les techniques intégrant la vitesse de calcul ou la vitesse effective ne suffisent pas pour éviter certaines incohérences de tracé. De manière générale, on recommande un degré de courbure élevé ou faible, en évitant les valeurs intermédiaires. Des règles additionnelles doivent être introduites, en vue surtout d'assurer une cohérence entre éléments successifs du tracé et donc une meilleure prévisibilité dans le chef des usagers. On notera à cet égard l'importance de la relation entre le rayon de courbe minimum et la longueur de la section rectiligne précédente ainsi que la compatibilité entre les rayons de deux virages successifs. Ces règles de cohérence sont présentes dans certaines normes de conception routière nationales, sans qu'elles soient pour autant comparables entre elles, voire suffisamment connues. Cette nécessaire cohérence dans la succession des différents éléments du tracé en plan devrait devenir un élément central de la conception des voiries nouvelles.

En ce qui concerne les routes existantes, le premier objectif est une meilleure signalisation des virages, qui devrait être harmonisée au niveau européen, particulièrement sur les routes rurales. Une étude de suivi est ici recommandée. Cette étude devrait porter sur le comportement humain (détection des virages, perception de leur degré de courbure, etc.) ainsi que sur la relation entre accidents routiers et signalisation (horizontale et verticale) et autres équipements des tournants.

6.5.5. *Aménagement des carrefours en fonction des cyclistes*

A ce jour, on ne dispose, pour les pays de l'Union Européenne, d'aucune vue d'ensemble des diverses normes applicables à l'aménagement des carrefours en fonction des cyclistes. Quatre pays seulement semblent en tenir compte de manière explicite: Allemagne, Danemark, Pays-Bas et Royaume-Uni. En la matière, les normes de conception sont en fait souvent davantage des 'orientations' ou des 'recommandations' que des 'normes' au sens strict. Les normes de sécurité, pourtant déclarées 'importantes' en ce domaine dans tous les pays, se heurtent à d'autres critères, au point qu'elles semblent souvent estompées dans les textes officiels. En outre, l'impression générale est que les évaluations en termes de sécurité de l'aménagement des carrefours à l'intention des cyclistes sont rarement basées sur une analyse des accidents. Néanmoins, quelques principes et solutions acceptés par tous peuvent servir de points de repère.

Toutes les lignes directrices existantes mentionnent, en tant que principe ou critère important (de sécurité), la création de *bonnes conditions de visibilité*. Pour atteindre cet objectif, il est recommandé qu'à proximité des carrefours, les cyclistes soient proches des véhicules à moteur, pour éviter qu'ils ne soient pas vus. Ainsi, une piste cyclable (séparée de la chaussée par une bordure ou une bande stabilisée) devient fréquemment voie cyclable (séparation visuelle seulement, notamment par marquages au sol) à partir de quelque 25 mètres avant le carrefour. Les voies d'insertion permettent d'éviter des conflits entre les véhicules à moteur tournant à droite et les cyclistes poursuivant tout droit. Pour accroître cet effet, il est souvent recommandé de peindre ces voies ou de les réaliser en matériaux différents.

La *séparation physique ou visuelle* des cyclistes du reste de la circulation est un deuxième critère mentionné dans toutes les lignes directrices. Il est cependant recommandé de fusionner la circulation des bicyclettes et des autres véhicules dans les situations caractérisées par de faibles vitesses et volumes des véhicules à moteur. Si l'on sépare les deux types de circulation, la séparation physique doit être préférée. Si ceci n'est pas possible, une séparation visuelle ayant recours à des marquages et signaux clairs doit indiquer précisément aux cyclistes les endroits où ils peuvent traverser le carrefour.

Dans les carrefours, les règles de conception et de priorité jouent un rôle également important. Les débats se poursuivent sur la qualité ou la sécurité relative des diverses règles de priorité. Les pays recommandent des solutions différentes en fonction des caractéristiques de conception (déviation de la piste cyclable ou non, rase campagne ou non). Les recommandations à cet égard sont également fonction de la vitesse et du volume des véhicules à moteur.

Dans les carrefours équipés de feux, les pistes cyclables ne sont généralement pas déviées par rapport à la chaussée prioritaire. Par contre, ce dispositif est recommandé en l'absence de signaux lumineux et afin d'éviter que les véhicules motorisés changeant de direction en provenance de la chaussée principale ne rencontrent directement les cyclistes traversant la voie latérale.

Les îlots séparateurs ou terre-pleins ménagés sur la voie à traverser permettent aux cyclistes de traverser par étapes, ce qui est particulièrement utile lorsque les cyclistes n'ont pas la priorité. Les virages à gauche des cyclistes (dans les systèmes de circulation à priorité de droite) sont considérés comme une manœuvre dangereuse. On recommande souvent dans ce cas les virages à gauche indirects, pour autant qu'ils soient effectivement utilisés par les cyclistes.

Autant que possible, les feux de circulation devraient être évités grâce à des aménagements différents des carrefours. En présence de feux lumineux, on recommande des phases non conflictuelles pour cyclistes. Les ronds-points sont relativement sûrs par rapport aux autres types de carrefours, et ceci vaut également pour les cyclistes. C'est en tout cas la constatation faite au Danemark et au Pays-Bas, mais des problèmes particuliers sont mentionnés par le Royaume-Uni en liaison avec ces ronds-points. Quoi qu'il en soit, les ronds-points devraient séparer physiquement cyclistes et véhicules motorisés lorsque les uns et les autres sont nombreux.

Les impacts sur la sécurité de l'aménagement des carrefours en fonction des cyclistes semblent avoir été jusqu'ici peu étudiés. On recommandera donc des études d'accidents et de comportements comparant ce type d'aménagement tant à l'intérieur des pays qu'entre ceux-ci.